



ТЕХНОЛОГИИ

→ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Тема статьи:

В статье рассматриваются особенности спектрально-энергетического взаимодействия излучения с поверхностью. По мнению авторов, спектрально-энергетическое отображение объектов открывает новые возможности для совершенствования способов и средств неразрушающего контроля.

СПЕКТРАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е.И. Марукович,

д.т.н., профессор, академик национальной Академии Наук Беларуси,
директор Института Технологии Металлов,

А.П. Марков,

заведующий лабораторией СКБ Белорусско-Российского университета,

О.Ю. Бондарев,

специалист II уровня по визуальному и измерительному контролю,
Президент Промышленной ассоциации «МЕГА» в области технической диагностики

Введение

Улучшение информационно-метрологических характеристик способов оперативной дефектоскопии связано с изысканием признаков и эффектов спектрально-энергетического взаимодействия лучистого потока с неоднородностями поверхностей. Всякое отклонение от нормированных значений связано с появлением неоднородных участков и соответствующих первичных отображений. Проявляемость и выявляемость таких неоднородностей в большей мере обусловлена спецификой лучистых потоков воздействующего на поверхность излучения.

Смешивание и разделение лучистых потоков информативного отображения изменчивой поверхности создает основу для высокочувствительного преобразования признаков деградирующих участков и зон. При этом обеспечивается помехозащищенная трансформация по световодам оптических излучений, используемых для визуализации неоднородностей.

Формализация и моделирование спектрально-энергетического взаимодействия излучения и поверхности

В современном неразрушающем контроле и оптическом приборостроении определяющее значение имеет

более эффективная трансформация первичной информации от материального объекта через формализованное абстрагирование в комплексе информационно-преобразовательных операций для комфортного представления потребителю. В условиях материального объекта первичным признаком пространственно-временной изменчивости является формирующееся аномальное отклонение от некоторых нормированных значений параметров. В нормированном поле допусков определяющими являются экстремальные значения, с которыми связаны зоны концентрации напряжений и сопряжений отдельных элементов, где более интенсивно протекают деградационные процессы [1].

Слабая проявляемость аномальных отклонений и, как следствие, низкий энергетический уровень первичных сообщений или вообще отсутствие таковых из-за слабых физических полей создают дополнительные сложности по локализованному стимулированию и селективному приему отраженной неоднородной поверхностью энергии. Случайное пространственное распределение в помеховой обстановке материального объекта снижает эффективность спектрально-энергетического взаимодействия воздействующих излучений с неоднородной поверхностью.

В неразрушающем контроле оптическая информация биологически и эргономически более адапти-

рована к зрительному восприятию. Современное оптическое приборостроение располагает большим арсеналом методов и элементной базы для визуализации неоднородностей информационного поля. При этом определяющее значение в выборе способа дефектоскопии имеют выявляемость контрастных зон и мобильность применительно к специфике объекта [2].

В ситуации, когда объект имеет малые габариты и массу, наблюдатель может зрительно оценить состояние поверхности и с помощью несложных приспособлений разглядеть его отдельные элементы.

Другая ситуация, когда объект с различными сочетаниями элементов имеет сложноконтурную протяженную поверхность громоздкой конструкции с односторонним доступом.

И значительные сложности представляет объект с полостями и внутренними разноуровневыми каналами с ограниченным доступом. Труднодоступные полости с контурами разных изменяющихся форм представляют особую сложность в дистанционной дефектоскопии внутренних поверхностей.

Для материального объекта особенности поверхностного взаимодействия с излучениями обусловлены формирующимися неоднородностями в кристаллической структуре материала. Всякая неоднородность, как и разрушение отдельных участков (элементов), связаны с преодолением прочностных связей, что сказывается на долговечности и работоспособности материального объекта.

В совокупности взаимозависимостей пространственно-временных характеристик элементарных участков проявляется изменчивость конфигурации, геометрических параметров и эксплуатационных признаков зарождающихся «ненормальностей». При этом от соотношения допусков охватываемой и охватывающей поверхностей зависит характер взаимосопрягаемых геометрических тел и вид посадки в системе отверстия или вала.

В идеальном виде базовая как абсолютно гладкая поверхность моделируется прямой линией 1 (рис. 1). В соответствии с характером сопряжения охватываемой и охватывающей поверхностей в реальных условиях отклонения от базовой ограничиваются нормированной поверхностью 2. При этом для нормированной поверхности разброс впадин и выступов ограничивается соответствующим видом посадки и допуском δ .

Для неидеальной поверхности характерно наличие экстремальных отклонений 5 и 6 (рис. 1), когда значения геометрических координат реального контура превышают нормированные границы по верхнему или нижнему отклонениям от нормы, создавая аномальные ненормальности в состоянии поверхностей.

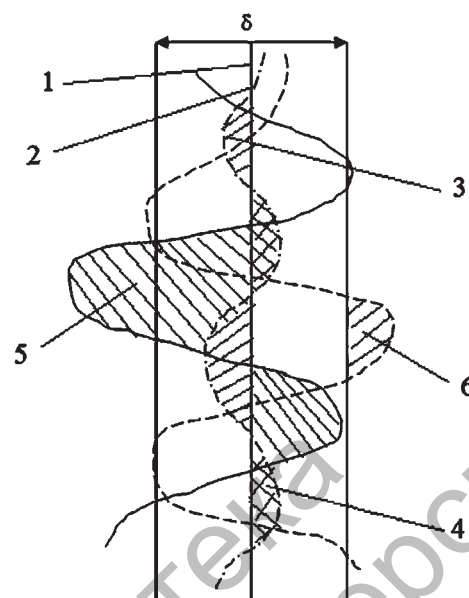


Рис. 1. Модель элементарной поверхности:
1 – поверхность базовая (расчетная); 2 – поверхность нормированная для сопряжения; 3 – выступы; 4 – впадины; 5 – отклонения экстремальные охватывающей поверхности; 6 – отклонения экстремальные охватываемой поверхности; δ – допуск; поверхность охватывающая; поверхность охватываемая; поверхность нормированная

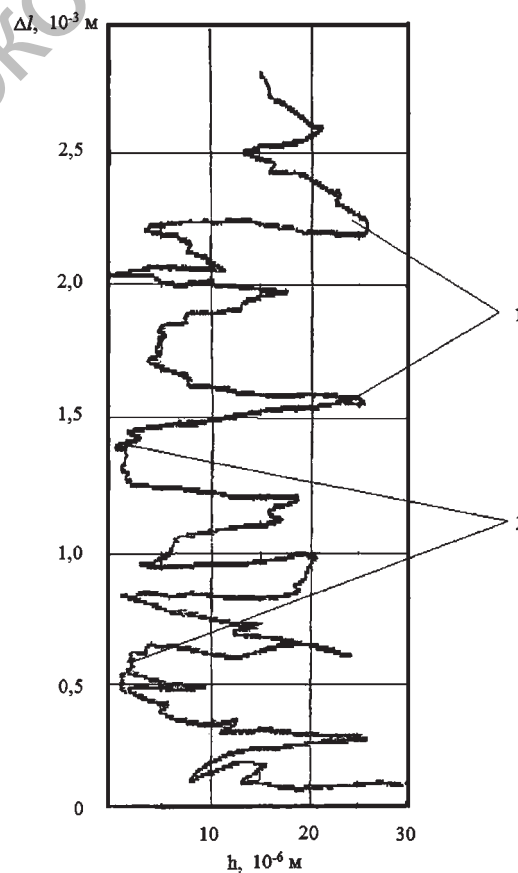


Рис. 2. Профилограмма участка поверхности профильного изделия:

1 – выступы; 2 – впадины

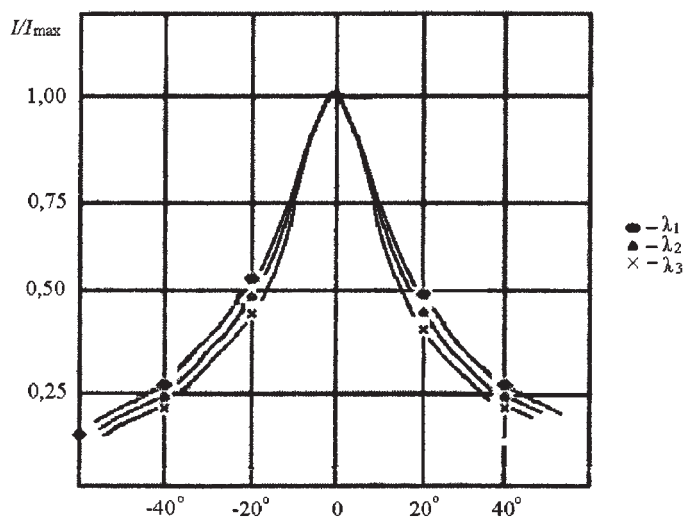


Рис. 3. Распределение I/I_{\max} по поверхности от λ :
 $\lambda_1 = 0,63$; $\lambda_2 = 1,15$; $\lambda_3 = 3,35$

Профилограмма неоднородного участка Δl реальной поверхности, полученная с помощью профилометра М-201, отражает наличие характерных отклонений высотой h со специфическими выступами 1 и впадинами 2 (рис. 2).

Технологические особенности участка поверхности проявляются как в микро- и макронеровностях, так и в разделении светорассеивающих свойств отраженного лучистого потока. Для большинства металлических поверхностей с нормированными геометрическими параметрами оптические характеристики не зависят от спектрально-энергетического воздействия излучателя. Однако некоторую поверхностную окраску придает наличие характерного максимума в определенном спектральном диапазоне. В нем проявляются особенности пространственно распределенного лучистого потока, отраженного неоднородным участком поверхности. При этом существенное влияние на такое распределение оказывает спектральный состав воздействующего излучения и геометрические параметры неоднородного участка поверхности.

Особенности спектрально-энергетического взаимодействия излучения с поверхностью

Технологические неоднородности поверхностей существенно превышают характерные размеры кристаллической структуры материала, что сказывается на совокупном эффекте взаимодействия излучений в виде дифракции излучения и его зеркального отражения на микронеровностях. На спектрально-энергетический эффект такого взаимодействия определяющее значе-

ние оказывает длина волны излучения. С ростом длины волны λ в отражательной способности элемента преобладает отраженная составляющая над дифрагированной. При этом доля дифракции уменьшается значительно, а в большей мере сказываются фотометрические характеристики [3].

В фотометрических характеристиках участка контролируемой поверхности отражаются физическое состояние, технологические и конструктивные изменения, отклонения параметров реального изделия. Путем фотометрической дефектоскопии устанавливаются оптическая плотность и неоднородность, натуральные показатели поглощения и отражения, и по ним оцениваются изменения микро- и макрорельефа, геометрических параметров и формы, пространственного положения и спектральных характеристик.

Конструктивные и эксплуатационные особенности поверхностей определяют выбор способа дефектоскопии и его структурно-алгоритмической реализации. В простейших способах прямого фотометрирования воспринимается распространение излучения видимого спектра непосредственно светоприемником. Если в визуально-фотометрической дефектоскопии светоприемником является глаз наблюдателя, то в фотоэлектрической – фотоприемник. Как в визуально-фотометрической, так и в фотоэлектрической дефектоскопии измерительная информация формируется по фотометрическому равновесию между излучениями от исследуемой и образцовой поверхностей и по равенству яркости воспринимаемых полей сравнения.

Значительной информационной обнаруживаемостью технологических и эксплуатационных отклонений отличаются системы дефектоскопии с фотометрированием пространственно распределенных источников информации в совокупности с селективной модуляцией. При этом для уменьшения влияния нестабильности источника и приемника излучений необходимо обеспечить локализованное воздействие на исследуемую зону и ориентированный селективный отбор формируемого информативного излучения. Важную роль играет и качественная транспортировка по защищенным каналам, а также быстродействующая оптико-электронная обработка в реальных пространственно-временных координатах.

Для шероховатой поверхности отраженное излучение с учетом выступов и впадин разбивается на множество малых участков, каждый из которых имеет свое направление с максимумом вблизи или точно по зеркальному отражению (рис. 3).

Это обусловлено тем, что нормаль к микроплощадкам расположена вблизи зеркальной или диффузной составляющих. В этом случае оптические свойства

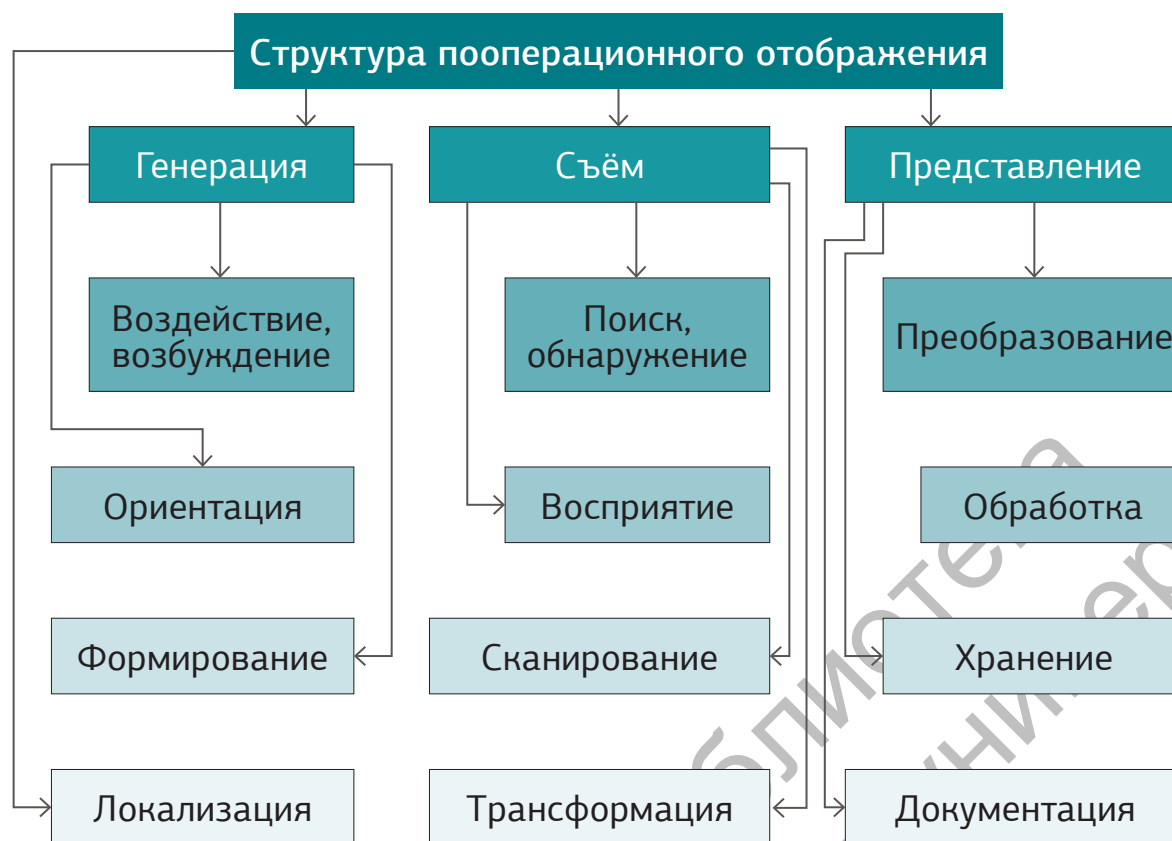


Рис. 4. Структура информационного отображения

тва шероховатых поверхностей определяются соотношением между длиной волны λ воздействующего излучения и размерами отражающих микрочастиц неровностей. Для гладких поверхностей зависимость интенсивности диффузной составляющей существенно упрощается. В этом случае полное диффузно-рассеянное излучение пропорционально квадрату оптической шероховатости дефектоскопируемой поверхности.

Во взаимодействии компонентов воздействующего лучистого потока с элементами поверхности генерируется пространственно распределенная первичная информация. В ее источниках отражаются все ненормальности свойств элементов деградирующего участка поверхности в форме, соответствующей отклонению нормированных признаков. При этом само нормированное признаковое пространство не информативно, в нем нет новых сведений о пространственно-временных изменениях визуализируемых состояний и свойств поверхности.

Визуализация межэлементных связей по наружной поверхности осуществляется методами и технологиями интерскопии. В отличие от них, для визуализации внутренних поверхностей используются более сложные методы и средства интроскопии. Если для интроскопии наружных поверхностей оптический обзор элементов геометрического тела доступен для любых

участков и связан со сложностями поиска случайно распределенных источников информации, то для интроскопии доступ к информативным зонам затруднен и связан со спецификой конфигурации отдельных элементов внутренней поверхности.

Как наружные, так и внутренние поверхностные явления определяют эксплуатационную надежность и долговечность материалов и изделий из них. Не только коррозия поверхностей, но и обратная абсорбция вызывают облегчение и ускорение деформаций. Деформация структуры материалов ведет к разрушению твердого тела, понижая и ускоряя работу образования новых поверхностей. При взаимодействии с излучениями именно поверхностные явления определяют проявляемость технологических отклонений и эффективность формирования информативных излучений. На использовании поверхностных явлений реализуются многие технологические процессы и способы дефектоскопии [4].

В отличие от излучений других источников, взаимодействие лазерного излучения с микронеровной поверхностью отражается в пятнистом характере дифракционной картины рассеянного света. Лазерное излучение отличается высокой степенью монохроматичности и пространственной когерентности. Воздействуя на неоднородную поверхность (шероховатую, напри-

мер), лазерное излучение претерпевает случайную модуляцию, которая проявляется в структуре рассеянного излучения. В результате взаимодействия лазерного излучения с неоднородной поверхностью формируемое информативное излучение становится пространственно неоднородным.

Оптическая неоднородность структуры случайно рассеивающей технологической неоднородности поверхности сказывается на случайном расположении световых пятен в плоскости наблюдения отображаемого изображения. Форма и размеры световых пятен являются также случайными.

В формализованном отображении состояний и свойств поверхности определяющее значение имеют информационно-физические преобразования, посредством которых абстрагируется и дистанцируется первичная информация от объекта к потребителю. В структуре информационно-энергетических взаимодействий на всех технологических и эксплуатационных воздействиях технологическая сторона должна адекватно отражаться в сопутствующей ей информационной. То есть как для эксплуатируемого объекта, так и для его информационного сопровождения имеет место определенное распределение и сосредоточение в пространственно-временных координатах физических и информационных операций. При этом если физическая сторона отражает физико-технические особенности самой поверхности, то в первичной информации абстрагируются ее количественные и качественные показатели.

Особенности пооперационных преобразований спектрально-окрашенных излучений

Системное согласование и материально-экономическая оптимизация информационных преобразований со спектрально-окрашенными излучениями расширяет возможности технических систем дефектоскопии поверхностей. Формализованная структура отдельных операций и всего информационно-преобразовательного процесса позволяет выявить узкие места и интерпретировать результаты с характеристиками, превышающими возможности реальных систем при использовании обычных излучений.

В структуре информационно-физических преобразований объединяются разнородные функциональные элементы и операции (рис. 4). В панорамном обзоре поверхности важное значение имеет ориентация приемника относительно генерируемой первичной информации с последующим ее формированием и селективной локализацией в информационном канале.

Трансформация текущего состояния материальной поверхности в формализованное спектрально-окрашенное отображение связана с различным диапазоном электромагнитных излучений, при взаимодействии которых с элементарным участком поверхности формируется информативное излучение. Дальнейшая цепь информационных преобразований строится на физических эффектах и локальных связях функциональных элементов структуры, системно сгруппированных для реализации заданного алгоритма дефектоскопии.

Операционное взаимодействие в процессе генерации, съема и отображения спектрально-окрашенной информации непосредственно связано с операциями воздействия и возбуждения информативных источников, их поиска, обнаружения и дальнейшего преобразования. Большой информационно-энергетический эффект проявляемости и выявляемости деградирующих зон поверхности обеспечивают способы спектрально-энергетического согласования излучателей обследованной зоны приемника спектрально-окрашенного отображения и оптического изображения.

Съем первичной информации связан с организованным поиском проявляемых признаков экстремальных отклонений поверхности и их обнаружением оптической системой. Посредством ее чувствительного элемента воспринимается информативное излучение, отражаемое зоной с ненормальными отклонениями. Все дальнейшие преобразования строятся в соответствии с принятым алгоритмом трансформации излучений и визуализацией ненормальных участков поверхности.

Формирование и сканирование обеспечивают первичную подготовку воспринимаемых излучений и их пространственно-временное согласование с возможностями всего оптического канала. При этом информативное излучение селективно локализуется и трансформируется по оптико-электронному каналу через специфические среды [4, 5].

В современном неразрушающем контроле и приборостроении широкое применение находят фотокомпенсационные, фотоследящие и фотоимпульсные способы. В виде отдельной группы выделяются телевизионные, лазерные и растровые.

Если в фотоимпульсных способах длительность развертки изображения светового импульса определяется геометрическим параметром изделия, то в фотокомпенсационных – сравниваются два световых потока. Один световой поток частично формируется элементом поверхности, а другой – подвижной заслонкой. Отклонение геометрического параметра определяется линейной координатой заслонки при полной фотоком-

пенсации (равенстве световых потоков). В фотоследящих способах положение каждой границы профилей и контуров поверхности фиксируется бесконтактной следящей системой.

Высокое пространственное разрешение с большим быстродействием обеспечивает лазерная техника, основанная на способах бегущего луча, дифрактометрии, интерферометрии, триангуляции и т.д. Современная элементная база оптоэлектроники обеспечивает дискретность фотоприемников 0,007 - 0,12 мм с числом элементов (пикселей) до 4096. Спектральный диапазон таких светоприемников составляет 0,4 - 1,2 мкм при линейной световой характеристике, что обеспечивает высокую точность в пределах 0,1 - 0,2 размера пикселя.

Как в пассивных, так и в активных способах отображения в единстве физико-технических и информационно-физических преобразований проявляется эффективность трансформации именно информативных излучений.

В такой структуре пространственно-временное разделение (разграничение) и выделение элементарных лучистых потоков воздействующего и информативного излучений с соответствующей селективной направленностью взаимодействий и разнообразием схемных реализаций обеспечивает оптическим способам перспективу широкого применения в локальных связях и информационно-преобразовательных операциях.

Даже простой переход от традиционных схем преобразований на спектрально-энергетические обеспечивает повышенную мобильность, технологичность и оперативность отображений. Именно световодные способы операционных преобразований, канализования и передачи сигналов создают базу для высокостабильной и быстродействующей трансформации спектрально-окрашенных отображений. При этом создается возможность получать первичную информацию в реальных пространственно-временных координатах, трансформируя локальное информационное поле (зону, участок, объем) в «цветную повременную фотографию» статических состояний (свойств) наблюдаемой поверхности.

В информативном отображении фиксируются в цвете все элементы проявляемой неоднородности участка поверхности. Но если изображения двух элементов окажутся внутри одной ячейки светоприемника, определяющей его разрешающую способность, то они оба будут восприняты этой ячейкой, и отдельного поэлементного восприятия изображений уже не получится. На разрешающую способность светоприемника влияет спектр и яркость элементов наблюдаемой поверхности, контрастность между ними и окружающим

фоном, ориентация приемника и другие факторы. При восприятии важно иметь обзор всего отображения, чтобы обеспечить соответствующую изобразительность. В черно-белом изображении острота восприятия падает по мере уменьшения контрастности, а в цветном – при изменении насыщенности цвета. Однако при снижении яркости или уменьшении размеров изображения снижается цветоощущение и воспринимается только яркость элементов [6].

В классическом способе интерференции используются отраженное или проходящее излучение. В таких структурах, соответственно, изменяется расположение зеркально отражающей поверхности, светоделительного элемента и неоднородной поверхности.

Более эффективную трансформацию излучений обеспечивают способы, основанные на анализе реакции поверхности и световодного тракта на спектрально-энергетическое воздействие излучателя. Среди проявлений такой реакции, определяющей характерные особенности информативного излучения о свойствах неоднородной поверхности и световода, выделяются эффекты френелевского отражения, релеевского рассеяния и спектрального распределения. Широкое применение в рефлектометрии находит метод комбинационного рассеяния в оптической среде и волоконных световодах. Высоким пространственным разрешением отличаются способы импульсной рефлектометрии.

На восприятии временной задержки импульсов френелевского отражения структурируются способы первичной трансформации локационного типа. При этом первичным признаком зарождающейся неоднородности является возрастающее рассеяние. В простейшем виде за счет рассеяния на повреждениях оболочки моноволокон визуально обнаруживаются дефектные места световодов. При своей трудоемкости оперативное отображение по зональному рассеянию позволяет идентифицировать неоднородность по локальной оптической связи путем регистрации дополнительно возникающего рассеяния при деформации поверхности эксплуатируемого объекта. Даже по минимальному уровню энергетического отображения обнаруживаются неоднородности на расстоянии 7 – 8 км от начала моноволокон. На таком удалении затухание от рассеяния на неоднородности составляет около 80 дБ, если действительные потери при удельном затухании около 2,8 дБ/км составляют 20 – 50 дБ [5].

Современные достижения оптоэлектроники, оптики и волоконных технологий способствуют ускоренному переходу от монохроматических излучений к адаптивным способам поиска, сбора, обработки и представления первичных отображений в цвете и в реальном времени.

«Полифония цветов и красок», заложенная в спектрально-энергетическом отображении, объединяет совокупность возможностей совершенствования способов и средств неразрушающего контроля и приборостроения. В селективном приеме спектрально-окрашенного отображения особую значимость представляет выделение каждой составляющей такого цветного отображения у объекта и соответствующего цветного изображения у потребителя.

Совершенствование способов и средств комбинированного контроля с визуализацией цветных отображений изменчивой поверхности представляет один из главных путей более эффективного использования материально-энергетических ресурсов, улучшения условий труда и роста потребительского спроса на гарантированную и качественную продукцию.

Список использованной литературы

1. Марукович Е.И. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е.И. Марукович и [др.]; под общей ред. Е.И. Маруковича. – Минск: «Белорус. Наука», 2007. – 152 с.
2. Сергеев С.С. Волоконно-оптические системы технологического контроля динамических объектов: монография / С.С. Сергеев, А.П. Марков, В.В. Коннов. – Могилев: Белорус.-Рос. Ун-т, 2007. – 193 с.
3. Плетнев С.В. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии: справ. пособие / С.В. Плетнев, А.И. Потапов, А.П. Марков. – СПб: ЛИТА, 2001. – 312 с.
4. Гармаш В.Б. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении / В.Б. Гармаш, Ф.А. Егоров, Л.Н. Коломиец и [др.] // Спец. Выпуск «Фотон – экспресс» – Наука. 2005, № 6. – С. 128 – 140.
5. Волоконная оптика и приборостроение / М.М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Оробинский, Б.П. Паг; Под общ. ред. М.М. Бутусова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1987. – 328 с.
6. Эпштейн М.И. Измерения оптического излучения в оптоэлектронике. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.




Тепловизоры **testo** сочетают в себе высокое качество и самые современные разработки.

Технология SuperResolution позволяет увеличить качество термограмм в 4 раза!

ООО «МЕГА ИНЖИНИРИНГ» – официальный поставщик оборудования производства testo на территории Российской Федерации. Весь ассортимент контрольно-измерительного оборудования.

129343, г. Москва, проезд Серебрякова д.2, к.1
 +7 (495) 600-36-42
 +7 (495) 600-36-43

info@testo-russia.ru
www.testo-russia.ru