

Оптоэлектронный метод контроля физико-механических параметров поверхностей твердых материалов

Т.В. Ларина, Е.Ю. Кутенкова, В.А. Жмудь, Д.Д. Алижанов

Аннотация. В статье рассмотрен оптоэлектронный неразрушающий метод контроля усталости металлических конструкций. Также предлагается оптоэлектронная система, которая состоит из датчика и электронного блока. Представляется один из вариантов выполнения датчика, изготовленный в виде полутрубчатой основы или полого полуцилиндра, в которую установлены три пары Y-образных и три обычных подводящих и шесть отводящих оптоволокон.

Ключевые слова: источники и приемники оптического излучения, оптоволоконно, оптоэлектронная система, зернистость, шероховатость поверхности, дефектность, цветность.

Контроль усталости металлических поверхностей – это одна из самых трудоемких технологических операций в машиностроении, самолетостроении и т. п., ибо ни одна деталь не может быть изготовлена без измерения ее технических характеристик. В связи с усложнением и требованием неуклонного повышения надежности новой техники трудоемкости контрольных операций в промышленности резко увеличиваются. Например, в развитых странах затраты на мониторинг металлических поверхностей составляют в среднем 1,5...3,5% от стоимости выпускаемой продукция, а в отдельных т.н. наукоемких отраслях – до 20% [1].

Детали, подвергающиеся воздействию переменных напряжений, разрушаются при напряжениях, значительно меньших значений предела прочности, а иногда и предела пропорциональности материала. Явление разрушения под действием переменных напряжений называется усталостью материала. Процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств материала, образованию трещин и разрушению детали, называется усталостным разрушением (усталостью).

Механизм усталостного разрушения связан с неоднородностью материала: различных размеров и конфигураций отдельных зерен, направлением их кристаллографических плоскостей, наличием неоднородных фаз, включений, дефектов кристаллической решетки (вакансий, дислокаций), остаточных напряжений [2-5].

Изменение состояния материала при усталостном процессе отражается на таких его параметрах и

свойствах, как зернистость, шероховатость, дефектность (усадочная рыхлость, газовые пузыри, пустоты и трещины) и цветность поверхности.

Контроль этих качественных параметров металлических поверхностей осуществляется рядом методов разрушающего и неразрушающего контроля, основными видами которого являются [6]:

- радиационный - выявление неисправностей на основе анализа изменения ионизирующего излучения, попускаемого через объект контроля;
- магнитный - так называемая магнитнопорошковая дефектоскопия, используется для выявления дефектов металлических конструкций;
- визуально-измерительный, с которого и начинается проведение неразрушающего контроля, позволяет отметить наиболее грубые, визуально заметные дефекты и нарушения;
- капиллярный (капиллярная дефектоскопия) - предназначен для обнаружения открытых дефектов, выходящих на поверхность;
- тепловой - для оценки качества объекта применяется его инфракрасная съемка;
- акустический.

В настоящее время в качестве лабораторного метода в основном используется визуально-измерительные методы с применением электронной микроскопии - просвечивающей и сканирующей. Они перекрывают весь диапазон необходимых в исследовательской и аналитической практике увеличений: от фрактографии изломов, до атомной структуры. Наиболее важным (и обязательным) в практике научных исследований является метод просвечивающей электронной микроскопии. Универсальность этого метода определяется не только уникальной шириной диапазона увеличений, но и тем, что характеристики микроструктуры дополняются характеристиками элементного состава в самых малых объемах и кристаллоструктурными характеристиками для тех же объемов.

Метод растровой электронной микроскопии позволяет:

- изучать микротопографию (фрактографию) поверхностей разрушенных образцов (изломов) после испытания, и проведя классификацию видов разрушения, в дальнейшем по виду излома судить об энергоемкости процесса разрушения;
- изучать поверхность металлоконструкций с целью обнаружения микротрещин;
- давать количественную оценку шероховатости поверхности металла с помощью

специальных профилограмм, основанных на измерении тока отраженных электронов;

– изучать кинетику роста трещины в образце и отвечать на вопросы, где зародилась магистральная трещина, каково направление и скорость ее распространения;

– изучать влияние фазовых выделений на механизмы разрушения;

– исследовать связь микротопографии изломов образцов с исходной структурой для выявления мест предпочтительного зарождения и распространения трещин;

– изучать морфологию фазовых составляющих и их объемную конфигурацию на поверхности травленных микрошлифов и изломов.

Если растровая электронная микроскопия может объяснить, как произошло разрушение в исследуемом материале изделия, как металлическая поверхность детали откликается на термопластическое воздействие внешней среды, то просвечивающая электронная микроскопия может объяснить, почему это происходит, как этому способствует структурно-фазовое состояние материала. Но, к сожалению, электронная микроскопия ограничена в своих возможностях по исследованию и диагностике поверхности. Несмотря на огромные плюсы, которые она имеет, существует несколько неоспоримых недостатков:

– дорого стоит и сам электронный микроскоп, и его обслуживание;

– подготовка материала для работы с микроскопом отнимает много времени и требует высокой квалификации персонала;

– исследуемые образцы под действием пучка электронов постепенно разрушаются. Поэтому, если требуется детальное изучение образца, необходимо его фотографировать;

– необходимость достаточного вакуума для получения относительно хорошего разрешения;

– отсутствие возможности просмотра больших образцов.

Из вышеперечисленных методов одним из наиболее распространенных видов неразрушающего автоматического контроля является акустический метод. Его популярность обусловлена легкостью введения и распространения ультразвуковых волн в объекты контроля и достаточно эффективным выявлением дефектов (таких как трещины, царапины, поры и др.), а также высокой чувствительностью ультразвуковых волн к изменению структуры и свойств материалов, и возможностью контроля больших толщин (до 2-5 м в зависимости от структуры металла). Помимо этого данный метод безопасен для окружающих, обладает высокой производительностью, малой стоимостью контроля и возможностью автоматизации (при простой геометрической форме изделия) [7].

Главными недостатками данного метода для правильного проведения контроля и получения объективных результатов являются квалификация, теоретическая и практическая подготовка специалиста. Также необходимо создать

акустический контакт через жидкую среду и существуют ограничения по чистоте обработки поверхности. Характерна малая чувствительность при контроле крупнозернистых материалов, отсутствует наглядность и отмечены сложность расшифровки результатов контроля, оценка размеров и формы дефектов с большими погрешностями.

В данной работе предлагается оптоэлектронный неразрушающий метод контроля усталости металлических конструкций, который представляется перспективным в отношении простоты и удобства. В данном методе применяется принцип сравнения качественных параметров исследуемого объекта с эталоном, в роли которого могут применяться образцовые стандартизованные меры зернистости, шероховатости и дефектности. Теоретические и экспериментальные исследования для зеркальной составляющей отраженного потока для шероховатой поверхности со случайным распределением элементов профиля показывают, что возможно применение этого метода для определения шероховатости металлических поверхностей с R_z до 0,2 мкм.

Основной измеряемой оптической характеристикой при данном методе выступает интенсивность отраженного светового потока от поверхности контролируемого объекта (КО), которая сравнивается с величиной аналогичной характеристики эталона. При этом измеряемой электрической характеристикой выступает сила тока или напряжение на приемнике оптического излучения (ПОИ). Они определяются выражениями $U_{\Phi} = S_{VEe} \cdot E_e$ и $I_{\Phi} = S_{IEv} \cdot E_v$, где U_{Φ} и I_{Φ} – соответственно, напряжение фотосигнала и фототок; S_{VEe} и S_{IEv} – соответственно, вольтовая чувствительность к облученности и токовая чувствительность к освещенности; E_e и E_v – облученность и освещенность.

При исследовании цветности определяющей выступает четкость спектра излучения светоизлучающего диода (СИД) и монохроматическая чувствительность ПОИ, для других параметров – интегральная чувствительность ПОИ.

Происходит сравнение измеряемого параметра КО и с любым из ряда образцовых, хранящихся в запоминающем устройстве (ЗУ) и сравнение их в блоке обработки фотоэлектрического сигнала (БОФС). КО подсвечивается соответствующим идентичным СИД, который питается импульсным током от задающего генератора (ЗГ) через коммутатор и разделяющий триггер (РТ). Далее результирующий сигнал из ПОИ сопоставляется в БОФС с любым из сигналов, хранящихся в ЗУ. Затем оба сигнала или их разность подаются на измерительный прибор (ИП) или в ЭВМ для хранения и дальнейшей обработки. Удобство данного решения в том, что сопоставление полученного сигнала с эталонным позволяет быстро и с достаточной точностью определить количественные значения параметров и отнести их к тому или иному классу (зернистости, шероховатости

и т.п.).

К настоящему времени разработан ряд оптоэлектронных приборов для неразрушающего контроля различных веществ и материалов [8-10].

На рис. 1 представлена структурная схема оптоэлектронной системы, а на рис. 2 - один из вариантов выполнения датчика.

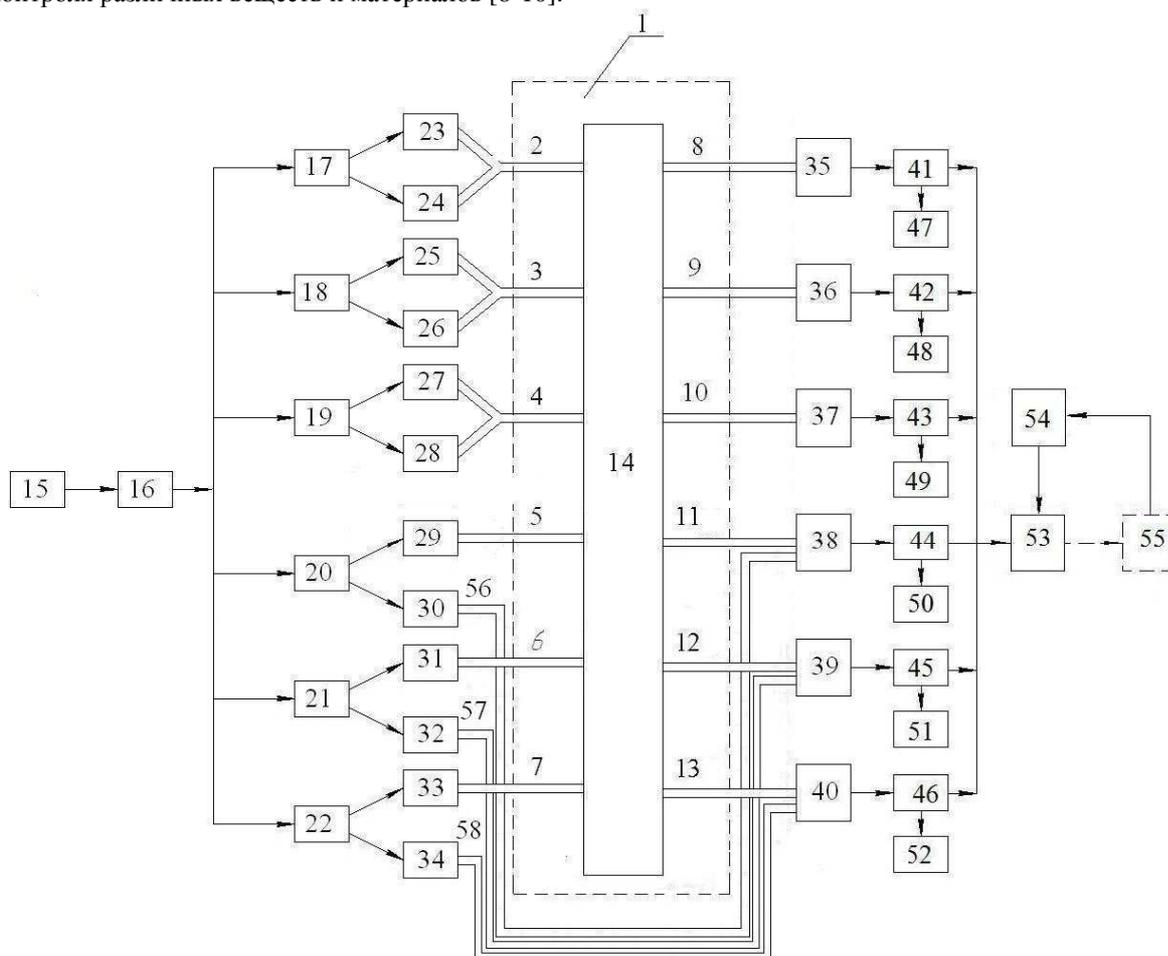


Рис. 1. Структурная схема оптоэлектронной системы для контроля усталости металлических конструкций

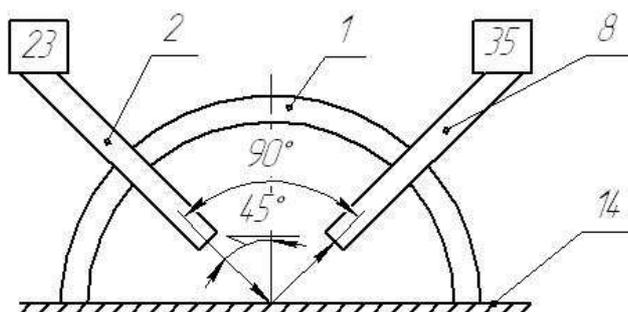


Рис. 2. Вариант выполнения датчика

Оптоэлектронная система скомплектована следующим образом, она включает в себя разветвленную структуру, содержащую шесть самостоятельных ветвей (цепочек). Каждая цепочка отвечает за контроль своего параметра металлической конструкции, например, первая, вторая и третья - за контроль цветности, четвертая - за шероховатость поверхности, пятая - за зернистость и шестая - за дефектность.

Датчик выполнен в виде полутрубчатой основы или полого полуцилиндра 1, в которую установлены

три пары Y - образных 2-4 и три обычных 5-7 подводящих оптоволокон, шесть отводящих 8-13 оптоволокон, а три опорные оптоволокна 56-58 входят в состав электронного блока.

Электронный блок включает в себя ЗГ 15, коммутатор 16, шесть триггеров 17-22, шесть выходов которых соединены с шестью измерительными СИД 23, 25, 27, 29, 31, 33 вторые шесть выходов - с компенсационными СИД 24, 26, 28, 30, 32, 34. Все измерительные СИД соединены подводящими оптоволоконками 2-7 с КО 14, а

компенсационные СИД соединены иначе. Например, СИД 24, 26 и 28 соединены через КО с соответствующими ПОИ, а компенсационные СИД 30, 32 и 34 соединены с соответствующими ПОИ 38, 39 и 40 оптическими опорными волокнами 56, 57 и 58 минуя КО 14. Выходы каждого из шести ПОИ 35 - 40 подсоединены к входу соответствующего блока сравнения 41 - 46, выход каждого из которых соединен с соответствующим ИП 47 - 52. Затем электронный блок включает в себя БОФС 53, ЗУ 54 и измерительную систему, например, ЭВМ - 55.

Устройство работает следующим образом. ЗГ 15 вырабатывает прямоугольные импульсы, которые подаются на вход коммутатора 16. Разделенные импульсы далее подаются на вход шести идентичных триггеров 17-22, шесть выходов которых соединены с шестью измерительными СИД 23, 25, 27, 29,31, 33, вторые три выхода – с компенсационными СИД 24, 26, 28, 30, 32, 34, импульсы от триггеров поступают на соответствующие СИД.

КО 14 заключен в полутрубу или в полый полуцилиндр 1, с подводщими Y- образными 2 - 4 и тремя обычными 5 – 7 оптическими волокнами облучается двумя световыми потоками измерительным и компенсационным.

Оптоволокна заключены в полутрубчатый кожух из мягкой резины для необходимой ориентации датчика и светоизоляции оптического канала и расположены они, например, под углом 45°, относительно нормали к КО в точке отражения при контроле цветности, и под углом $\approx 30^\circ$ - при контроле шероховатости поверхности и др.

При контроле цветности оптическое излучение отражается от КО 14 и отводящими оптическими волокнами 8 - 10 подается на ПОИ 35-37, которые преобразуют оптические сигналы в электрические. Данные ПОИ, работают на длинах волн $\lambda_1=680$ нм, $\lambda_2=560$ нм и $\lambda_3=450$ нм.

Благодаря прохождению света через подводящие 2-4 и отводящие 8-10 оптоволокна подается и принимается узкий пучок излучения, который дает возможность контроля параметров цветности.

Физический смысл заключается в следующем: цветовые параметры определяются как объективное свойство предметов, проявляющееся в спектральном составе исходящего от них (пропускаемого, отражаемого) излучения и воспринимаемое как осознанное зрительное ощущение. В этом определении даны два аспекта – физический и психофизиологический, неразрывно связанные друг с другом.

Современная теория распознавания цвета основана на однозначно установленном факте трихроматности зрения человека, т.е. зрительный аппарат содержит три вида рецепторов, каждый из которых преимущественно реагирует на красный, зеленый или синий цвет.

Согласно этому, цветовой параметр математически выражается вектором в трехмерном

цветовом пространстве, причем начало этого вектора совпадает с началом цветовой координатной системы (ЦКС). Если в качестве основных цветов использовать единичные векторы трех цветов красного r_n , зеленого g_n и синего b_n , то любой цвет можно выразит в виде:

$$C = R r_n + G g_n + B b_n \quad (1)$$

где R, G, B – три основных цвета.

На *рис. 3* показаны кривые сложения цветов систем RGB (а) и XYZ (б). RGB-система называется эмпирической, которая используется в качестве основных цветов чистого спектрального излучения красного ($\lambda=680$ нм), зеленого ($\lambda=560$ нм) и синего ($\lambda=450$ нм) цветов. А XYZ называется феноменологической системой. Смысл этих систем заключается в том, что спектрально чистый цвет с $\lambda=600$ нм воспринимается глазом как состоящий из красного и зеленого компонентов в соотношении 14:3, излучение с $\lambda=450$ нм воспринимается в виде соотношения 7,5:1:35 красного, зеленого и синего цветов соответственно [11].

В системе RGB кривые красного r_n , зеленого g_n и синего b_n построены так, что для каждого из трех основных цветов отличаются от нуля лишь ординатой одной кривой. Принципиальный недостаток этих кривых сложения заключается в наличии отрицательного участка у кривой. При измерении цветовых координат вычитание цвета реализовать невозможно, поэтому в колориметрии это система не применяется.

Таким образом, задача контроля цветовых параметров на основе XYZ системы осуществляется тремя способами. Первый – это визуальное сопоставление измеряемого цвета с эталонным. Эталон выбирается из заранее составленного цветового атласа или компьютерным программированием каждого из цветов. Второй – это спектрофотометрирование, наблюдаемого излучения и расчет координат X, Y, Z. Третий – это непосредственное измерение координат X, Y, Z при использовании трех эталонных ПОИ, спектральные функции, чувствительности которых в точности соответствуют кривым Y_x , Y_y , Y_z . Этот способ, несомненно, является наиболее перспективным, так как он удовлетворяет требованиям технологического процесса.

Для разработки по этому способу устройство должно выполнить следующие операции:

- выделение анализирующего излучения на трех длинах волн (красный, зеленый и синий);
- прием отражающих через КО потоков излучения и преобразование их в фотоэлектрический сигнал;
- обработка и сравнение фотоэлектрического сигнала.

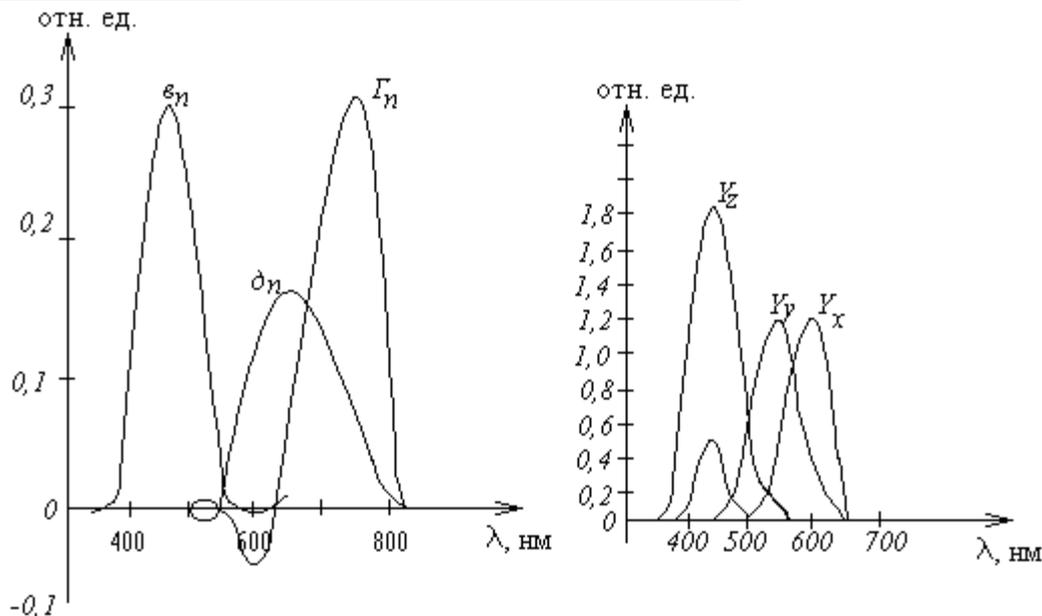


Рис.3 показаны кривые сложения цветов систем RGB (а) и XYZ(б)

Назначение каждой из трех оптопар поясняется следующим образом: КО облучается двумя световыми потоками с длинами волн λ_1 и λ_2 , один из которых является измерительным излучением, а другой - компенсационным.

Пусть на КО падает световой поток $\Phi_{0\lambda}$. Освещенный слой разделит упавший на него световой поток на три части:

$\Phi_{\lambda 1}$ – отраженный от поверхности и попадающий на ПОИ, из которой пришел и падающий поток;

$\Phi_{\lambda 2}$ – отраженный от поверхности и не падающий на ПОИ;

$\Phi_{\lambda 3}$ – поглощенный поток, который в веществе слоя превратится в теплоту или другую форму энергии.

В соответствии с законом сохранения энергии сумма световых потоков равна падающему потоку:

$$\Phi_{0\lambda} = \Phi_{\lambda 1} + \Phi_{\lambda 2} + \Phi_{\lambda 3} \quad (2)$$

или

$$\frac{\Phi_{\lambda 1}}{\Phi_{0\lambda}} + \frac{\Phi_{\lambda 2}}{\Phi_{0\lambda}} + \frac{\Phi_{\lambda 3}}{\Phi_{0\lambda}} = 1 \quad (3)$$

Для окрашенных веществ эти коэффициенты зависят от спектрального состава падающего излучения. Для монохроматического излучения с определенной длиной волны (как спектр излучения светоизлучающего диода), их обозначить $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$ и $\alpha(\lambda)$.

$$\lambda = \frac{1}{2} \Delta \lambda \quad (4)$$

Спектральную зависимость этих коэффициентов удобно изображать графически.

Предлагаемое устройство обладает повышенной точностью распознавания цвета за счет трех оптопар, которые контролируют три цветовых параметра, соответствующие параметрам X, Y, Z.

Устройство обладает повышенной точностью контроля за счет трехмерного измерения с длинами волн $\lambda_1 = 680$ нм, $\lambda_2 = 560$ нм, $\lambda_3 = 450$ нм, когда в

качестве эталонных ПОИ применены многоцветные фоторезисторы. При необходимости сигнал с выхода БОФС можно подать в систему автоматического контроля.

Далее сигналы попадают на соответствующие блоки сравнения 41 - 43, где берется отношение двух сигналов (измерительного и компенсационного) и затем измерительной системой 47 - 49 определяются оттенки трех цветов. Процесс измерения цветности на данном этапе можно закончить.

Следующие параметры контроля, такие как шероховатость, баллы зернистости и наличие дефектов (трещин, рыхлости) измеряются иначе. Например, сигнал от измерительного СИД 29 через подводящее оптоволокно 5 попадает на КО 14, и, отражаясь от него, поступает по отводящему оптоволокну 11 на ПОИ 38, который отвечает за шероховатость и работает на длинах волн $\lambda_4 = 860$ нм (ПОИ 39 – отвечает за зернистость и работает на длинах волн $\lambda_5 = 1350$ нм, ПОИ 40 – отвечает за дефектность и работает на длинах волн $\lambda_6 = 2800$ нм).

На ПОИ 38 также попадает второй сигнал от компенсационного СИД 30 через опорное оптоволокно 56, минуя КО 14, и затем оба сигнала сравниваются между собой в блоке сравнения 44. Контроль двух других параметров выполняется аналогичным образом.

Физический механизм системы поясняется следующим образом. Например, для определения шероховатости через 29 СИД подается измерительный сигнал в виде светового потока $\Phi_{0\lambda}$, а отраженный сигнал Φ_{λ} при этом равен:

$$\Phi_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} \cdot e^{-k} \quad (5)$$

где e – основание натурального логарифма;
 k – коэффициент поглощения и рассеивания, зависящий от шероховатости.

Второй компенсационный поток $\Phi_{0\lambda}$ от СИД 30 попадает через 56 опорное оптоволокно на ПОИ 38, при этом сигнал $\Phi_{0\lambda}$ будет иметь вид:

$$\Phi_{0\lambda} = \Phi_{0\lambda} \quad (6)$$

Если начальные потоки идентичны, то есть $\Phi_{04} \approx \Phi_{05}$, то отношение сигналов имеет вид:

$$\frac{\Phi_{15}}{\Phi_{14}} = \frac{\Phi_{15}}{\Phi_{14}} \cdot e^{\epsilon} \quad (7)$$

Сигнал будет прямо пропорционален:

$$\frac{\Phi_{15}}{\Phi_{14}} = e^{\epsilon} \quad (8)$$

Основной измеряемой оптической характеристикой при данном методе выступает интенсивность отраженного светового потока от поверхности контролируемого объекта (КО), которая сравнивается с величиной аналогичной характеристики эталона.

Затем шесть сигналов могут поступать на БОФС 53, где сопоставляются с любым из ряда образцовых, хранящихся в ЗУ 54. Далее шесть сигналов или их отношение подаются на измерительную систему или в ЭВМ 55. При необходимости сигнал с выхода БОФС можно подать в систему автоматического контроля.

На основе данного метода разработана оптоэлектронная система для контроля усталости металлических конструкций. Прибор имеет высокие технические характеристики, что делает возможным его применение в исследовательских целях: напряжение питания – 220 В; частота – 50 Гц; потребляемая мощность – не более 5 Вт; длина волны источников излучений, $\lambda_1 = 2800$ нм, $\lambda_2 = 1350$ нм, $\lambda_3 = 860$ нм, $\lambda_4 = 680$ нм, $\lambda_5 = 560$ нм, $\lambda_6 = 450$ нм; предел измерения цвета (ЦНТ) - 0,010Б; чувствительность (ЦНТ) – 0,01; шероховатость, Ra = 80..0,2 мкм; зернистость, номер зерна (баллы) – от минус 3 до 14; дефектность (усадочная рыхлость, газовые пузыри, пустоты и трещины) – контролируется на выходе (проверяется, имеется ли); габариты прибора – 400 × 100 × 200 мм³; масса – не более 3,5 кг.

Это устройство позволяют заменить визуальный контроль технологических параметров исследуемой поверхности по ГОСТ 9378-93 сравниваемой с эталонными образцами, причем расчеты показали, что стоимость устройства окажется в несколько раз ниже стоимости зарубежных приборов. При этом объективность, оперативность и точность контроля данным устройством намного выше, чем при визуальном контроле. Также устройство можно встраивать и в автоматизированное оборудование для одновременного контроля нескольких технологических параметров металлических поверхностей как шероховатость, зернистость, цветность и дефективность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Клюев, В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий/ В. В. Клюев.- М.: Машиностроение, 1986. - 382 с.
- [2] Терентьев, В. Ф. Усталость металлических материалов. М., Наука. 2003. 254.
- [3] В. Ф. Терентьев. О пределе выносливости металлических материалов. Металловедение и термическая обработка металлов. N7. 2004. 15–19.
- [4] Москвичев В.В. Трещиностойкость и механические свойства конструкционных материалов, 2002, 335 с.
- [5] Трошенко В.Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении, 1987, 255 с.
- [6] Ермолов, И.Н. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7-ми т. / Под ред. В.В. Клюева. Т. 6. Магнитные методы контроля, Оптический контроль, Радиоволновый контроль. М.: Машиностроение, 2004.
- [7] Н. А. Семашко, В. И. Шпорт, Б. Л. Марьин. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении. М., Машиностроение. 2002. 239.
- [8] Пат. №2428728 Российская Федерация, МПК 51G01J 3/46. Анализатор цвета поверхности твердых материалов/ Рахимов Б.Н., Ушаков О.К., Кутенкова Е.Ю., Ларина Т.В., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия». - № 2009147534/28; заявл. 21.12.2009; опубл. 20.09.2011 Бюл. № 26. –7с.: 3 ил.
- [9] Ушаков, О.К. Физические основы применения оптоэлектронного метода с использованием световодов для контроля качественных параметров металлических поверхностей / О.К. Ушаков, Н.Р. Рахимов, Т.В. Ларина, Е.Ю. Кутенкова, В.А. Плиско // ГЕО – Сибирь - 2010: сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО – Сибирь - 2010», 19 - 29 апреля 2010 г., Новосибирск.- Новосибирск: СГГА, 2010. – Т.5., ч.1. – С. 179 – 185.
- [10] Ларина, Т.В. Исследование оптонов открытого канала для контроля качественных параметров металлических поверхностей // ГЕО – Сибирь - 2011: сб. материалов VII Междунар. науч. конгр. «ГЕО – Сибирь - 2011», 19 - 29 апреля 2011 г., Новосибирск.- Новосибирск: СГГА, 2011. – Т.5., ч.1. – С. 120 – 125.
- [11] Джадд, Д. Цвет в науке и технике/Д. Джадд, Г. Вышецки.- М.: Мир, 1978. -592 с.

Ларина Татьяна Вячеславовна, доцент, ФГБОУ ВПО «СГГА», каф. ТОП.

e-mail: larina_t_v@mail.ru

Кутенкова Елена Юрьевна, доцент, ФГБОУ ВПО «СГГА», каф. ТОП ИОиОТ.

e-mail: kutenkova.elena@yandex.ru

Вадим Аркадьевич Жмудь, Новосибирский Государственный Технический Университет (НГТУ), д.т.н., профессор заведующий кафедрой Автоматики,

e-mail: oao_nips@bk.ru

Алижанов Донёрбек Дилшодович, аспирант НГТУ Российская Федерация – 643 Новосибирская обл., г. Новосибирск 630087, ул. Немировича-Данченко 138, к.508.

e-mail: doni.al@mail.ru