

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОМЕТРИЯ: ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО ОБРАЗА ДО КОГЕРЕНТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОРТРЕТА ДЕФЕКТОВ

© 2024 г. Алексей Харитонович Вopilкин^{1*}

¹ – ООО «НПЦ «ЭХО+», 123458 Москва, ул. Твардовского, д. 8

* - vopilkin@echoplus.ru

В докладе приведена история развития одного из актуальных направлений ультразвукового контроля – ультразвуковой дефектометрии – за 50-летний период работ автора сначала в НПО ЦНИИТМАШ, затем в НПЦ «ЭХО+». Начинались работы с применения дифракционных методов оценки типа и размеров дефектов. Затем на смену им пришли ультразвуковые голографические методы, которые сослужили хорошую службу на атомных электростанциях. В последние годы активно развиваются методы и аппаратура ультразвуковой дефектометрии с использованием фазированных решеток (ФР). Апогеем создания приборов ФР явился выпущенный на рынок ФР дефектоскоп на 128 каналов, в котором реализованы одновременно три технологии контроля.

Ультразвуковая дефектометрия на основе спектрального и дифракционного образов

Ультразвуковой спектральный метод основан на различной реакции отраженного сигнала при падении на дефект различной формы. Для плоскостного дефекта спектр носит периодический осциллирующий характер, а для объемного дефекта спектр носит равномерный характер без осцилляций. Этот метод реализован в ультразвуковом спектрографе, внедренном на ряде предприятий.

Прибор был достаточно громоздким и не удобным в цеховых условиях. В то же время было понятно, что разбиение дефектов на два класса (плоскостные и объёмные) недостаточно, поскольку большинство дефектов находятся в промежутке между двумя полярными классами. Это с одной стороны, а с другой стороны специалисты по прочности моделируют при расчетах дефекты в виде эллипсов с соотношением полуосей эллипсов от 0,5 для сферы до 0,001 для трещины (соотношение получило название коэффициента формы Q). Такая шкала эллипсов перекрывает все возможные размеры дефектов. В связи с этим, на Ижорском заводе была заказана серия образцов с моделями эллиптических дефектов, перекрывающих всю шкалу эллипсов. Перед началом исследований была предложена классификация типов дифракции, состоящая из 4-х типов:

- Дифракция на острых краях трещины; отраженное поле формируется как суперпозиция двух сигналов от кончиков трещины, причем фазы обоих сигналов отличаются на 180 градусов;

- Дифракция на гладкой выпуклой поверхности; здесь формируется волна обегания-соскальзывания, но осцилляции отсутствуют;

- Дифракция на границе раздела двух сред; этот тип дифракции характерен для излучения волны вблизи первого критического угла. В этом случае образуется головная волна, распространяющаяся вдоль поверхности и переизлучающая боковую волну. Головная волна широко используется для контроля подповерхностных дефектов. Она не чувствительна к неровности поверхности;

- Дифракция в слоисто-неоднородных средах. Этот тип дифракции наблюдается в поверхностно закаленных слоях валков холодной прокатки, в аустенитных сварных швах, в которых вследствие неравномерной кристаллизации, по его сечению изменяется скорость распространения волн.

Наибольшее практическое применение нашли первый и третий тип дифракции. Волна, излученная в металл под первым критическим углом (для пары плексиглас – сталь этот угол составляет 27,5 град), вдоль свободной поверхности металла распространяется, как головная волна, которая является неоднородной, самостоятельно существовать не может и в каждой точке своего распространения переизлучает боковую поперечную волну, которая, дойдя до нижней свободной поверхности, переизлучает вторичную головную волну. Головная волна имеет ряд позитивных особенностей. В частности, она не чувствительна к неровностям поверхности и может быть применена для выявления подповерхностных дефектов.

Ультразвуковая дефектометрия на основе когерентных голографических изображений дефектов

Когерентные методы с обработкой во временной области общепринято называть SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique). В наших ранних работах мы показали, что в рамках дифракционной теории алгоритм SAFT можно реализовать как во временной области, так и в области пространственных частот. В начале 90-х годов персональная компьютерная техника была еще очень примитивная и не позволяла реализовать временной алгоритм, поэтому выбор был сделан на частотный алгоритм. Этот алгоритм называется проекция в спектральном пространстве (ПСП) и метод назван акустической голографией.

Упрощенно технология акустической голографии состоит в следующем. В изделие излучают короткие ультразвуковые импульсы с широкой диаграммой направленности (30-60 град.), сканируют ПЭПом с малым шагом (0,1..0,5 мм) по поверхности изделия строго по прямым линиям, в каждой точке сканирования принимают отраженные от дефекта сигналы и оцифровывают их. Обработывают полученную последовательность сигналов с помощью алгоритма ПСП, визуализируют полученные сигналы в виде проекции изображения на три плоскости (B, C и D).

Физически это означает, что путем измерения фазовых сдвигов между излученным и принятым сигналами во всем пространстве контролируемого изделия на приеме формируется узкий, слабо расходящийся пучок, шириной порядка 1 мм. Тем самым удается визуализировать отдельные сечения, сложив которые, можно получить изображение дефекта. При этом разрешающая способность может повышаться в десятки раз.

Предложенная новая технология диагностики объектов повышенной опасности, заключающаяся в трехуровневом контроле с измерением реальных размеров дефектов, позволила проводить оценку состояния эксплуатируемых объектов по их фактическому состоянию и выйти на управление остаточным ресурсом.

Уже в первые годы применения голографического контроля удалось снизить более чем в два раза объем ремонта благодаря тому, что появилась возможность разделять выявляемые дефекты на опасные и неопасные, которые не влияют на работу объекта. А неопасных дефектов было большинство. Как правило, они образовывались еще на стадии изготовления оборудования и в течение всего срока эксплуатации не развивались.