

ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Карабутов, Н.Б. Подымова
Физический факультет МГУ

Введение.

В настоящее время существуют различные методы обнаружения и локализации поверхностных и объемных дефектов. Для нахождения поверхностных изъянов образца используется оптический и акустический методы микроскопии и профилометрии поверхности. Недостатком оптического метода является трудность работы с сильно шероховатыми и слабо отражающими поверхностями. В случае же использования стандартной акустической микроскопии для диагностики поверхности возникают проблемы из-за т.н. $V(z)$ эффекта, т.е. когда происходит интерференция падающей и вытекающих волн.

Для дефектоскопии объема используется более широкий набор методов. К ним относятся магнитный, вихревой, ультразвуковой и т.д. Каждый из них исследуется образец на предмет наличия искажений в переменном магнитном поле или в отраженном или прошедшем сигналах. Для исследования механических повреждений целесообразно использовать ультразвуковой метод. В ультразвуковой дефектоскопии исследование объектов происходит различными способами, которые делятся на категории по типу исследуемого сигнала (эхо импульс или прошедший сигнал), по способу генерации сигнала (пьезоэлектрический генератор, ударные волны и т.д.), по геометрии волнового фронта (сферический, плоский, цилиндрический).

В настоящей работе предлагается использовать оптико-акустический метод возбуждения ультразвукового импульса с последующей его фокусировкой сферической линзой. Он удобен тем, что за счет термооптического механизма возбуждается акустическая волна широкого спектра частот. Ультразвуковой сигнал представляет собой короткий видеоимпульс, что обеспечивает высокое пространственное разрешение (в продольном направлении). Поперечное разрешение и протяженность зоны обзора данной системы определяются соответственно диаметром перетяжки и длиной фокальной области ультразвукового пучка.

Экспериментальная установка.

Опто-акустический преобразователь представляет собой призму, пропускающую световые и акустические волны, с закрепленным на малом (верхнем) основании пьезоэлементом – приемником ультразвука. На большом основании находится ОА генератор. Ниже его располагается сферическая акустическая линза. Преобразователь закрепляется на

трехкоординатном трансляторе и вместе с объектом контроля помещается в иммерсионную жидкость (вода). В работе использовался YAG:Nd³⁺ лазер с диодной накачкой и модуляцией добротности, длительность 10 нс, энергия 100 мкДж и аналого-цифровой преобразователь с частотой дискретизации 100 МГц. Синхронизация работы установки производилась от лазерного импульса. Излучение лазера по оптоволокну доставлялось к оптико-акустическому преобразователю и направлялось через окошко призмы на ОА генератор. При поглощении лазерного импульса происходит тепловое расширение нагреваемого слоя ОА-генератора и возбуждение плоских ультразвуковых волн. Одна из них распространяется по призме к пьезоприемнику, а вторая фокусируется акустической линзой на поверхность образца. Проходя от поверхности линзы до фокуса и обратно, сигнал дважды дифференцируется и его форма изменяется по сравнению с первоначальной. После того как отраженный импульс проходит через линзу фронт ультразвуковой волны опять становится плоским. Далее плоская волна распространяется по ОА призме к приемнику. Подобная схема позволяет отделить отраженный от поверхности сигнал от опорного сигнала по времени прихода. Таким образом, не происходит наложения импульса, излучаемого ОА генератором, с сигналом от поверхности, содержащим информацию об объекте. Временной трек сигнала на приемнике через АЦП поступает на компьютер, который управляет трансляторами.

Проведение эксперимента.

Оси транслятора выбираются так, чтобы X и Y находились в средней плоскости образца, а ось Z выходила из нее, образуя с X, Y правую тройку. Для исследования объектов со сложной геометрией поверхности необходимо знать скорость звука в иммерсионной жидкости и фокусное расстояние в ней. Их измерение происходит за счет опускания преобразователя до поверхности образца вдоль оси Z на известное расстояние. Скорость звука рассчитывается как

$$c = \frac{\Delta l}{2\Delta\tau},$$

где Δl - расстояние между двумя положениями на трансляторе по оси Z, $\Delta\tau$ - временная задержка на треке сигнала между максимумами отраженных сигналов в этих положениях.

Для определения положения фокуса преобразователь тоже перемещается к поверхности образца маленькими шагами, между которыми происходит анализ положения максимума отраженного сигнала. Среди этих максимумов выбирается наибольшее значение, положение

которого и принимается за фокус, а сканирование прекращается в случае уменьшения отраженного сигнала по сравнению с ним в $\sqrt{2}$ раз.

После измерения значений скорости звук и положения фокуса преобразователь фокусируется на поверхности образца и начинает сканирование поверхности. Траекторией сканирования был выбран меандр. При переходе в новую точку сканирования проводилась фокусировка преобразователя. Изменение положение по оси Z сохранялось и в дальнейшем, исходя из него, строилась карта поверхности образца.

Характеристики фокусированного преобразователя.

Как отмечалось ранее, пространственное разрешение определяется диаметром и длиной фокальной области ультразвукового пучка. Исследование диаметра фокальной перетяжки производилось путем перемещения преобразователя через острый край вдоль оси, перпендикулярной к краю поверхности. Производилась фокусировка прибора на поверхности образца, а затем его смещение, при котором фиксировалась максимальная амплитуда отраженного сигнала. На основе этих данных строился график зависимости амплитуды сигнала от смещения и, после его дифференцирования, производилась аппроксимация гауссовой функцией. Диаметр фокальной перетяжки находился как ширина этой функции. Для осей X и Y они оказались близки и составили $0,52 \pm 0,02$ мм. Исходя из этого, можно утверждать, что форма фокальной перетяжки близка к круговой. Измерение зависимости амплитуды отраженного сигнала от высоты производилось аналогично процедуре нахождения фокального расстояния, рассмотренного выше, за тем лишь исключением, что сканирование начиналось тогда, когда фокус находился под поверхностью образца, а заканчивалось на фиксированном расстоянии от образца. Были измерены диаметры пучка при фокусировке на различных расстояниях от поверхности. Согласно этим измерениям площадь пучка увеличивается в 2 раза на расстояниях, при которых максимум отраженного сигнала уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с его значением при фокусировке на поверхность. Таким образом, длина перетяжки определяется как ширина на графике зависимости амплитуды отраженного сигнала от высоты на уровне $1/\sqrt{2}$ от максимального значения. Она составила $6,3 \pm 0,2$ мм.