

УДК 621.179

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВЕРСИИ ФАЗЫ ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НЕСЦЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

А.Р. БАЕВ, М.В. АСАДЧАЯ, А.Л. МАЙОРОВ, В.В. ПАРАДИНЕЦ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Для повышения износостойкости и долговечности изделий используют технологии нанесения металлических и неметаллических покрытий, при этом возникают вопросы, связанные с оценкой качества сцепления этих покрытий, как в производстве, так и в процессе эксплуатации. Контроль дефектов сцепления двух материалов часто представляет собой сложную задачу, особенно если соединяемые материалы существенно различаются по акустическим свойствам. В этом случае колебания амплитуды сигнала, связанные с нестабильностью акустического контакта и другими факторами, существенно снижают чувствительность и надежность контроля эхо-методом по амплитуде сигнала, отраженного от границы соединения материалов. Другие известные методы, например, резонансный, имеют много ограничений и применимы для небольшой группы объектов. Известен также метод контроля отслоений оболочек от основания из материала с большим волновым сопротивлением, основанный на том, что при отражении от качественного соединения и от зазора импульс изменяет фазу на обратную [1]. В настоящей работе рассматривается амплитудный способ контроля, основанный на использовании инверсии фазы отраженного сигнала.

Как показано в работе [2], если между импульсами, отраженными от участков соединения с разными граничными условиями, имеется фазовый сдвиг $\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_0$ и различаются их амплитуды A_i , то при перемещении акустического пучка относительно линии, разделяющей дефектную и бездефектную поверхности (линия инверсии фазы волны (ЛИФ)), происходит существенное изменение суммарного поля отраженных волн $\Phi(\gamma)$. В результате сложения полей мнимых источников колебаний происходит разделение основного лепестка раскрытия поля отраженной волны на два и более лепестка, а также вращение угловых максимумов поля относительно плоскости падения исходного пучка. В зависимости от типа граничных условий и углов падения волны β и приема γ амплитуда отраженного сигнала может изменяться на 20-40 дБ. Рассмотренная двумерная модель соответствует ситуации, когда размер протяженного дефекта d превышает поперечный размер падающего ультразвукового пучка D .

В настоящей работе выполнено экспериментальное исследование влияния ширины дефектов $d < D$ на характер поведения функции P_A . Для случая отражения акустического пучка от жесткой границы плексиглас-

сталь с искусственным дефектом, представляющим собой длинную полосу шириной d без нагрузки, получены зависимости $P_A(x)$ амплитуды отраженного сигнала от положения раздельно-совмещенного пьезопреобразователя (ПЭП) частотой 2,5; 5; 10 МГц. При прохождении преобразователем даже небольшого дефекта наблюдается существенное и резкое уменьшение амплитуды отраженного сигнала – на 6 дБ и более. По мере увеличения d наблюдается разделение минимума зависимости $P_A(x)$ на два, соответствующих двум краям дефекта. При этом положение x_m центра ПЭП, при котором наблюдается минимум амплитуды, смещено относительно действительного положения края дефекта на некоторое расстояние, которое в общем случае тем больше, чем больше различие коэффициентов отражения R , и чем ближе значение $\Delta\varphi$ к π . Зависимость глубины минимума (минимумов) ΔP_{Amax} от размера дефекта d представляет собой осциллирующую функцию, один из локальных минимумов которой наблюдается при $d \approx 0,5D$, что хорошо согласуется с данными теоретического анализа.

Применение подповерхностных (головных) и поверхностных (рэлеевских) волн позволяет расширить возможности контроля, например, если поверхность соединения материалов расположена перпендикулярно контактной поверхности (например, боковая поверхность соединения нирезистовой вставки с материалом поршня). Проведенные экспериментальные исследования показывают, что при отражении головных волн от комбинированной границы раздела сред наблюдаются явления, аналогичные тем, что были установлены для объемных волн. Однако в силу особенностей формирования акустического поля головных волн вращение лепестков диаграммы направленности (ДН) может происходить и в вертикальной плоскости, так что при движении ЛИФ может наблюдаться как увеличение, так и уменьшение амплитуды отраженной волны.

При отражении волны Рэлея от неоднородной границы раздела материалов вращение лепестков ДН происходит в контактной плоскости, причем ось одного из лепестков вращается в направлении от излучающего источника, а другая – навстречу ему. На основании этого факта сделан принципиальный вывод о возможности применения только одного преобразователя, работающего в совмещенном режиме. На рис. 1 представлены зависимости амплитуды отраженной рэлеевской волны от положения ЛИФ для неоднородной границы «жесткая – свободная», когда излучение и прием осуществляется одним ПЭП, при различных значениях угла наклона β продольной оси преобразователя к границе раздела. Как видно, путем выбора оптимального угла наклона может быть достигнута весьма высокая чувствительность – уменьшение амплитуды составляет более 40 дБ. При этом для протяженного дефекта в силу несимметричности поля отраженной волны отчетливый минимум сигнала при данном угле β наблюдается лишь для одного края дефекта. Для получения такого минимума при про-

хождении второго края дефекта ось преобразователя должна быть наклонена в противоположную сторону.

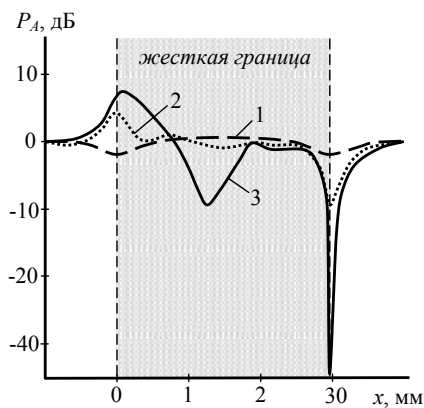


Рис. 1. Зависимость амплитуды волны Рэлея, отраженной от неоднородной границы «жесткая – свободная», от положения ЛИФ: угол поворота ПЭП $\beta = 0^\circ$ (1); 5° (2); 7° (3)

совмещенного режима контроля заключаются в уменьшении габаритов устройства и числа ПЭП, а также в сокращении площади соединения, недоступной для контроля. Чтобы обеспечить более высокую чувствительность измерений применительно к обнаружению области с неоднородными граничными условиями, рекомендуется: повысить направленность УЗК, увеличить временную ширину импульса, регистрировать изменение не всего импульса, а его выделенной части.

Полученные результаты представляют интерес для разработки методов контроля, связанных с определением качества границы раздела контактирующих сред, а также для решения обратной задачи – управления параметрами волнового фронта акустических колебаний как за счет изменения импеданса отражающих упругие волны поверхностей, так и формы ЛИФ, что требует экспериментальной проверки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: справ. в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2006. – Т. 3. – 864 с.
2. Моделирование отражения акустического пучка от границы раздела сред со смешанными граничными условиями / А. Р. Баев [и др.] // Вестн. Физ.-тех. сер. – 2004. – № 2. – С.85-90.

E-mail: baev@iaph.bas-net.by