

ция, $\Delta Y'$, % – дисторсия, Z'_m , Z'_s – астигматические отрезки; для афокальных систем [дптр, °; ; ']: D' , σ' – сферическая абберация; $\Delta \omega'$ – дисторсия, L_M , L_S – астигматические отрезки; η , % – неизопланатизм);

– графики остаточных аббераций: поперечные абберации в меридиональном и сагиттальном сечении, кривизна поля, дисторсия;

– точечные диаграммы (диаграммы кружка рассеяния), диаграммы волнового фронта, графики MTF (ЧКХ), функции рассеяния;

– дополнительные данные по абберациям и виньетированию;

Графическая интерпретация оптических характеристик может быть различной: ФРТ изображают в виде карты уровней равной интенсивности, где дополнительно указано число Штреля; MTF обычно показывают в виде двумерной функции для меридионального и сагиттального сечения; ТД представляет картину точек пересечения лучей, равномерно распределенных по зрачку, с плоскостью изображения; фокусировочные диаграммы характеризуют изменение ТД в различных плоскостях установки (в частности, в ПНУ); ФРЛ показывает распределение интенсивности в изображении бесконечно длинной линии в меридиональном или сагиттальном сечении. Вычисление всех характеристик в геометрическом приближении основано на определении поперечных аббераций для большого количества точек.

Дополнительно в зеркальных системах целесообразно приводить рабочие зоны с учетом «загораживания» зеркальными поверхностями пучков лучей, по которым можно судить о степени

влияния экранирования и виньетирования на качество изображения [7].

Такой классификационный подход к каталогам позволит служить одним из основных факторов сокращения сроков новых разработок.

Он может использоваться не только отдельными специалистами инженерами-оптиками; большинство оптических компаний рано или поздно приходят к необходимости создания архивов своих разработок и классификации этой информации.

1. Артюхина, Н.К. Компьютерное проектирование оптических систем: учебно-метод. пособие: в 2 ч. / Н.К. Артюхина, В.А. Марчик; Мин-во образования Респ. Беларусь; БНТУ. – Минск, 2007. – Ч. 1: Анализ центрированных оптических систем. – 105 с. (гриф УМО).
2. The Photonics Handbook, Book3, 52nd International Edition, A. Laurin Publication, 2006.
3. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.focus.software.com>.
4. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fsapr.2000.ru>.
5. Лившиц, И.Л. Выбор исходной системы для расчёта объективов / И.Л. Лившиц, А.В. Сальников, Unchung Cho // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 11. – С. 74–78
6. Smith, W.J. Modern Optical Engineering, the Design of Optical Systems / W.J. Smith. – 3rd ed. – New York: McGraw-Hill, 2000. – 617 p.
7. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

УДК 620.179.16

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛН В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

Баев А.Р., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е., Гиль Н.Н.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Трансформация волн – явление, играющее важную роль в практике ультразвукового контроля. Как известно, сама возможность возбуждения различных типов волн в твердых телах основана на трансформации мод на границе раздела сред. При распространении в объеме объекта ультразвуковые волны испытывают трансформацию, попадая на стенки или технологические элементы – отверстия, проточки, резкие изменения профиля и т.п. Зачастую трансформация волн мешает при контроле, так как в результате возникает большое количество т.н. ложных сигналов, маскирующих сигналы от дефектов. В других случаях преобразование типов волн осу-

ществляется намеренно (например, в методе Т-тандем) либо используется как признак наличия дефекта.

Значительное число объектов контроля имеют сложный рельеф поверхности – различные технологические выступы, радиусные переходы сопрягаемых поверхностей и пр. (например, валы прессового оборудования, вагонные оси колесных пар, сварные соединения). Нередко такая форма поверхности ограничивает возможности установки преобразователей и создает трудности при введении ультразвуковых колебаний в исследуемую область объекта. Как показано в [1], в таких случаях возможно использовать преобра-

зователи рэлеевских волн в качестве первичного источника (приемника) поперечных волн, генерация которых происходит вследствие трансформации и рассеяния упругих мод на технологическом выступе.

Установлено, что в общем случае результирующее поле поперечных волн A_T (рис.1), возбуждаемых пьезопреобразователем (ПЭП) волн Рэлея в объекте с выступом, имеет три составляющие: краевая поперечная волна A_{TE} , трансформированная из волны Рэлея в области сопряжения поверхностей (ОСП) выступа; сопутствующая поперечная волна A_{TS} , возбуждаемая преобразователем одновременно с волной Рэлея; отходящая (боковая) поперечная волна A_{T^*} , генерируемая головной волной, трансформированной из волны Рэлея на ОСП выступа.

Результирующее поле поперечных волн $A_T(\alpha)$ имеет максимум в окрестности продолжения контактной поверхности образца ($\alpha \sim 0^\circ$), смещающийся на $5-7^\circ$ при варьировании угла выступа γ в диапазоне $35-135^\circ$.

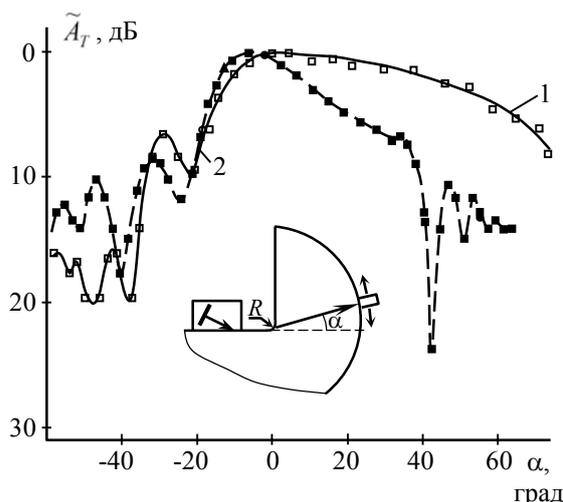


Рисунок 1 – Поле поперечных волн в объеме образца с выступом (угол выступа $\gamma=90^\circ$) и радиусным переходом (1) и без радиусного перехода (2); частота $f=1,8$ МГц

О возможности использования ПЭП волны Рэлея для выявления дефектов свидетельствуют представленные на рис.2 результаты исследования влияния углового положения модельного дефекта α на амплитуду отраженного сигнала A_T . Данные исследования зависимости $\tilde{A}_T(\alpha)$, полученные на частотах 1 МГц и 1,8 МГц, указывают на то, что в области $\alpha > 0$ преобладающее влияние на формирование поля $\tilde{A}_T(\alpha)$ и выявление модельных дефектов, расположенных в окрестности $\alpha \sim 0^\circ$ и выше, играет именно краевая поперечная мода.

Установлено также, что при высоте выступа $h_\lambda \geq 3$ потери на 4-кратную трансформацию ПАВ составляют ~ 20 дБ, что позволяет использовать преобразователи волны Рэлея для обнаружения поверхностных дефектов, расположенных за выступом.

Эффект трансформации ПАВ в поперечную моду и обратно может быть использован для контроля объектов с технологическими выступами на наличие дефектов, контроля параметров трещины, измерения акустических свойств материалов и создания преобразователей поперечных мод.

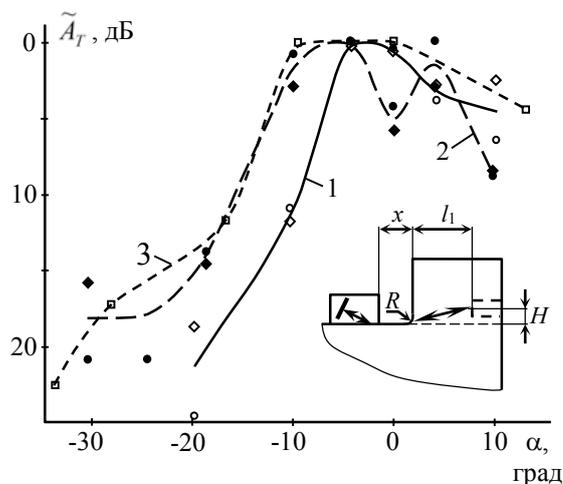


Рисунок 2 – Пример выявления дефектов в образце с выступом преобразователем рэлеевских волн на частоте 1,8 МГц: радиус ОСП R , мм = 5 (1); 10 (2); 0 (3); расстояние до выступа x , мм = 20 (○, ●, □); 48 (◇, ◆)

Образец с трещиной или тонким пазом можно рассматривать как модель выступа с углом $\gamma \sim 0^\circ$. Данные прозвучивания образца с естественной трещиной глубиной $\sim 0,4-0,5$ мм позволили установить, что сигнал-отклик представляет собой серию импульсов, приходящих в виде ПАВ на приемный ПЭП. При этом в режиме эхо наблюдаемый на осциллограмме первый импульс является отражением ПАВ от устья трещины, второй же формируется в результате прохождения ПАВ по поверхности трещины и трансформации ее в окрестности вершины в поперечную моду с последующим рассеянием, а затем, после отражения от противоположной поверхности образца, возвращается на ПЭП в обратном порядке. Т.е., ПАВ дважды проходит по стенке трещины и дважды трансформируется на ее вершине. Последующие же импульсы, принимаемые ПЭП, генерируются в результате периодической трансформации на трещине переотражаемых в плоском слое импульсов T_E -моды. Т.е., в этом

случае основная энергия сосредоточена в поперечной моде, и при очередном переотражении от донной поверхности образца она трансформируется в ПАВ (именно на вершине трещины) и возвращается к приемнику волн.

Таким образом, исходя из полученных данных, временной интервал между первым и вторым импульсами (t_{21}), а также между вторым и третьим импульсами (t_{32}), наблюдаемыми на осциллограмме, будут равны

$$t_{21}=2H/C_{П\text{АВ}}+(d-H)/C_T+\Delta t; t_{32}=H/C_{П\text{АВ}}+2d/C_T, \quad (1)$$

где d – толщина образца; H – глубина трещины; Δt – временной сдвиг, обусловленный отражением ПАВ от стенки трещины; $C_{П\text{АВ}}$ – скорость поверхностной волны; C_T – скорость поперечной волны.

Исходя из (1), предполагается, что в некоторых случаях возможно судить не только о наличии, но и о глубине трещины по величине временных интервалов между переотраженными сигналами – как в теновом, так и в эхо-режиме. Необходимо учесть, что в зависимости от степени контакта стенок трещины (граничных условий) величина $C_{П\text{АВ}}$ может уменьшаться на 1-2 % [9].

Принципиально возможно также использовать технологические выемки, пропилы и трещины для обнаружения дефектов, расположенных под ними, с помощью трансформированной из ПАВ и рассеянной на вершине пропила поперечной моды. Чувствительность такого способа выявления дефектов, расположенных на расстоянии до 10-15 мм от вершины пропила, может достигать нескольких мм².

УДК 620.179.1+534.1

ПОЛЕ ГОЛОВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ НАЛИЧИИ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Баев А.Р.¹, Сергеева О.С.², Асадчая М.В.¹, Костюк Д.А.¹

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь
²ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь

В практике ультразвукового контроля все более широкое применение находят методики, основанные на использовании пьезопреобразователей (ПЭП) подповерхностных волн, возбуждаемых под первым β_1 и вторым β_2 критическим углом падения продольной волны на контролируемый объект. Это позволяет выявлять подповерхностные дефекты под грубо обработанной поверхностью, производить тензометрию и структуроскопию твердых тел, а также существенно повысить чувствительность к обнаружению дефектов типа слипания [1-3]. Исследования показали, что поле подповерхностных волн имеет сложную структуру, характеризующуюся тем, что малая часть потока ее энергии локализо-

Как следует из результатов исследований, высокий коэффициент преобразования и легкость конструктивной реализации позволяют использовать эффект трансформации ПАВ \leftrightarrow T-мода для создания преобразователей поперечных горизонтально поляризованных волн как для их приема, так и излучения.

В частности, представляет интерес создание преобразователей, работающих независимо друг от друга на нескольких частотах и имеющих одну и ту же область излучения-приема. Это может быть реализовано путем расположения нескольких ПЭП друг за другом в определенной последовательности и с соответствующей длиной волновода, обеспечивающей требуемую временную задержку между источниками (приемниками) акустического сигнала.

При проведении исследования акустических свойств материалов под воздействием температуры, внешних полей, давления и др. представляет интерес использовать образцы с выступами, являющиеся высокоэффективными трансформаторами ПАВ в объемные моды и обратно. В случае реализации эхо-режима преобразователь ПАВ может быть вынесен за пределы зоны воздействия на испытываемый образец. В некоторых случаях в качестве опорного сигнала можно использовать отражение от ребер выступа.

1. Баев, А.Р. Формирование акустического поля преобразователя волны Рэлея в объекте с выступом. Часть 1. Угол выступа прямой / А.Р. Баев, А.Л. Майоров, М.В. Асадчая, О.С. Сергеева // Дефектоскопия. – 2014. - №6. - С.25-37.

вана в поверхностном слое, а превалирующая – в объеме. При этом ослабление амплитуды A продольной подповерхностной или головной волны (ВГ) с расстоянием x в отсутствие диссипативных процессов $\sim x^{-n}$, где $n \approx 1,7-1,8$, если волна распространяется по поверхности объекта, а в объеме – $n \sim 1$. Причина столь сильного ослабления приповерхностного потока ВГ заключается в наличии стока энергии, уносимой отходящей поперечной модой от контактной поверхности в объект под 3-м критическим углом $\beta_3 \approx 33^\circ$. Указанные недостатки, а также большое затухание препятствуют применению ВГ для контроля объектов, обладающих низкой скоростью звука, включая полимерные материалы. Представляет