

УДК 620.179.1+531.4

ОТРАЖАТЕЛИ УПРУГИХ МОД ПРИМЕНИТЕЛЬНО  
К УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

А. Р. БАЕВ, \*О. С. СЕРГЕЕВА, Г. Е. КОНОВАЛОВ, В. В. ПАРАДИНЕЦ

Государственное научное учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

\*Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РУССКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Могилев, Беларусь

При проведении ультразвукового контроля (УЗК) твердотельных объектов в режиме «эхо» требуется поддержание стабильных условий ввода-приема упругих волн (УВ), что достаточно часто достигается путем использования опорного сигнала  $P_A$ , реализуемого, например, при отражении УВ от стенки изделия, отверстия или выступа. Отсутствие отражателей звука (ОЗ) сказывается на надежности и производительности ультразвукового контроля, точности измерений. Для устранения этого недостатка авторами предложено использовать два типа искусственных ОЗ, которые могут быть применены для отражения не только объемных, но и поверхностных, пластинчатых и других мод: I – магнитожидкостные отражатели; II – контактные твердотельные отражатели. Для функционирования ОЗ на поверхность объекта контроля, на фиксированном расстоянии  $L$  от источника (приемника) излучения волн, помещается отражающее звук тело, контактирующее с объектом через жидкую звукопроводную среду.

**Магнитожидкостные отражатели.** В этом случае обеспечение акустического контакта между отражающим звук телом и объектом достигается с помощью магнитной жидкости (МЖ), удерживаемой магнитной системой. В работе проведена разработка некоторых конструкций таких ОЗ и оптимизированы системы удержания МЖ магнитным полем как на ферромагнитных, так и немагнитных объектах, имеющих различный профиль. Отражающая звук поверхность может иметь как положительную кривизну  $\varepsilon$ , так и отрицательную. В случае, когда поверхность ОЗ сфера ( $\varepsilon = \text{const} > 0$ ), последний является ненаправленным отражателем или рассеивателем звука. Если же  $\varepsilon = \text{const} < 0$ , то в результате отражения происходит фокусировка продольной волны (трансформированной из зондирующей моды) на поверхность объекта, что в ряде случаев может быть использовано для повышения выявляемости дефектов. Если зондирующая мода ПАВ или волна Лэмба, то угол наклона отражающей звук плоской поверхности  $\beta$ , обеспечивающий максимальный коэффициент отражения УВ. Его выбирают из условия:  $\beta = \arcsin(C_{\text{МЖ}}/C_0)$ , где  $C_{\text{МЖ}}$ ,  $C_0$  скорости УВ в МЖ и моды в объекте контроля соответственно. Показано, что изменяя  $\beta$  в процессе контроля, представляется возможным расширить его возможности

путем трансформации отраженной продольной волны (в МЖ) в другую моду, отличную от базовой.

Проведено исследование акустического тракта измерительной системы, включая влияния состава МЖ, формы и расположения отражателя на параметры зондирующего сигнала. Показано, что коэффициент  $\Xi_{\text{МЖ}}$  ослабления его, вследствие прохождения УВ через жидкий звуковод в прямом и обратном направлении и отражения от поверхности ОЗ, является практически линейной функцией концентрации магнетика  $q$ . При наличии паразитных факторов (изменчивость структуры материала и микрогеометрии поверхности объекта) наилучшая выявляемость дефектов достигается при расположении ОЗ на минимально возможном расстоянии от дефектной зоны. Эффективность применения методики с использованием такого ОЗ продемонстрирована при контроле предзамковой зоны авиационных лопаток типа ПС 90А.

**Контактные отражатели.** Работа ОЗ осуществляется путем тесного контакта твердого тела заданной формы с объектом контроля через тонкую контактную смазку толщиной  $h \ll \lambda$ , где  $\lambda$  – длина ПАВ. На основе известных представлений [1] проведен теоретический анализ прохождения и трансформации ПАВ через зону контакта отражателя с плоской поверхностью, определены коэффициенты прохождения  $D$ , отражения  $R$  и направленности фронта поля рассеяния волны  $\Phi(\alpha)$  в зависимости от геометрии пятна контакта, создаваемого через тонкую жидкую прослойку ОЗ с поверхностью объекта исследования. В результате теоретического анализа и экспериментальных исследований оптимизированы геометрические параметры ОЗ, при которых обеспечивается минимальный шумовой фон, вызванный преимущественно рассеянием волны от ближней границы контакта ОЗ с объектом. Показано, что использование таких ОЗ предпочтительно при проведении контроля физико-механических свойств поверхностного слоя металлоизделий по данным скорости распространения ПАВ или волн Лэмба. Поскольку в этом случае используется режим эхо, то представляется возможным существенно увеличить акустическую базу измерений (по сравнению с известными методами) и проводить измерения на малогабаритных изделиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абакумов, К. Е.** Влияние нарушения акустического контакта на распространение волн Стоунли вблизи границы твердых полупространств / К. Е. Абакумов, Р. С. Коновалов // Дефектоскопия. – 2008. – № 3. – С. 52–58.