УДК 620.179.14/15

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ КОНТАКТНУЮ ГРАНИЦУ ТВЕРДЫХ ТЕЛ РАЗНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

А. Р. БАЕВ, А. В. ВОРОБЕЙ, М. В. АСАДЧАЯ, Н. Н. ГИЛЬ
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Ряд методик ультразвукового контроля твердых тел или их неразъемных соединений реализуется путем использования поверхностных волн (ПАВ), включая волны Рэлея (WR) и Стоунли (WS), распространяющихся вдоль границы контактирующих поверхностей – тела подложки и тела акустической нагрузки (ТАН) [1, 2]. Дальнейшее их совершенствование представляет значительный интерес для оценки физико-механических свойств изделий, выявления структурных неоднородностей и другое по данным амплитудных, частотных и других параметров ПАВ. В [3] изучены акустические параметры указанных поверхностных мод при их прохождении и трансформации на границе контакта поверхности стальной подложки с установленным на ее поверхности стальным ТАН в форме призмы с разным углом наклона боковых поверхностей к базовой поверхности. Данные акустических параметров ПАВ несут информацию о дефектности объекта, где ТАН служит отражателем ПАВ и может быть использован для создания опорного сигнала в технике УЗК [3]. Эффективность его использования или «отражательная способность» определяется (рис. 1) в режиме эхо отношением амплитуд принимаемых сигналов, отраженных от граничной области контакта ТАН с основанием (I) и оппозитно ей (II):

$$A_{21} = A_2/A_1 = \epsilon\,(D_{RSt,}\, D_{St,R})_1\,(K_{St\,2})\,(K_{R1})^{-1}, \qquad (1)$$

где D_{RSt}, $D_{St,R,}$ – коэффициенты прохождения ПАВ в прямом и обратном направлении через ближайшую границу; $K_{R,1}$, $K_{St,2}$ – коэффициенты отражения волны Рэлея и волны Стоунли от указанных границ; ϵ – корректирующий коэффициент.

Далее на основе разработанной методики изучаются особенности акустического тракта, когда контактирующие материалы подложки и ТАН в несколько раз отличаются плотностью ρ_i и удельным акустическим сопротивлением $\Re_i = C_i\rho_i$, что реализуется при контакте «подложка – ТАН»: «сталь – сталь»; «алюминий – сталь»; «алюминий – алюминий». Учитывая особенности влияния граничных условий на формирование волн Стоунли, распространяющихся по границе сред, в качестве контактной среды использованы солидол, машинное масло, спирт, существенно отличающиеся вязкостью, сказывающейся на передаче тангенциальной составляющей скорости волны, подобной Стоунли, между контактирующими телами. Кроме того, в качестве ТАН используются металлические цилиндры радиусом r = 5...40 мм, расположенные между двумя преобразователями.

В результате экспериментальных исследований, выполненных на рабочих частотах 1,8 и 2,5 МГц, определены коэффициенты прохождения и отражения ПАВ при вариации материала основания подложки и ТАН, формы последней, состава контактной смазки. Установлено, что отражательная способность ТАН в форме призмы наибольшая ($A_{21} \rightarrow 28...30$ дБ) в том случае, когда контакт с телом акустической нагрузки из алюминия реализуется через тонкий слой солидола. Когда же оба контактирующих материала из алюминия или стали, то их отражательная способность ниже, т. е. $A_{21} \rightarrow 24...25$ и 16...17 дБ соответственно. На основе исследования коэффициентов отражения волны Рэлея $K_{R,1}$ и Стоунли $K_{St,2}$ в зависимости от формы границы контакта передней и оппозитной грани ТАН с подложкой установлена возможность: снизить шумовой фон, создаваемый отражением WR, на десятки дБ; существенно изменить направленность поля отраженных волн Рэлея, включая их фокусировку и направление волнового фронта, повышая чувствительность к обнаружению слабо выявляемых дефектов. Во втором случае цель достигается путем изменения кривизны границы II. Отметим также перспективность применения для контроля металлоизделий ТАН с магнитным удержанием на объектах в различном пространственном положении.

Выявлены особенности распространения ПАВ при наличии в качестве ТАН цилиндрических тел из стали и алюминия диаметром 7...40 мм, устанавливаемых на подложку, и определены условия эффективного контроля структуры поверхности подобных объектов (включая покрытия), выявления поверхностных и подповерхностных дефектов как в сплошных, так и в полых цилиндрах. Отметим, что в отличие от традиционного подхода при контроле [1], согласно предложенной схеме отсутствует непосредственный контакт источника и приемника ПАВ с объектом, что позволяет повысить информативность и чувствительность измерений амплитудных и фазовых характеристик зондирующего сигнала, обеспечивая условия «дистанционности».

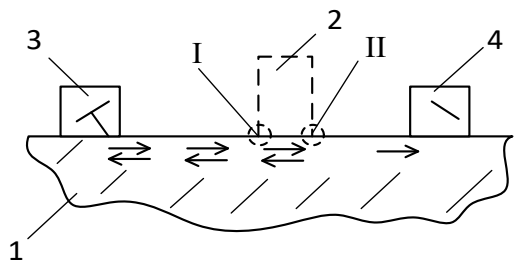

Рис. 1. Схема измерений: 1 – подложка; 2 – тело акустической нагрузки (ТАН); 3, 4 – излучающий и принимающий ПАВ ппреобразователи; I, II – передняя и оппозитная границы области контакта ТАН и материала подложки

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 3 т. / Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 3. – 859 с.

2. **Викторов, И. А.** Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике / И. А. Викторов. – М. : Наука, 1966. – 168 с.

3. **Баев, А. Р.** Трансформация и рассеяние поверхностных волн на акустической нагрузке для ультразвукового контроля и измерений / А. Р. Баев, Ф. И. Пантелеенко, В. В. Захаренко // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 28–39.