

УДК 621.179
ДИФРАКЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ УПРУГИХ ВОЛН, ОТРАЖЕННЫХ ОТ
НЕОДНОРОДНОЙ ГРАНИЦЫ

А.Р. БАЕВ, М.В. АСАДЧАЯ, А.Л. МАЙОРОВ, Г.Е. КОНОВАЛОВ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Наличие шероховатой поверхности ввода ультразвуковых колебаний (УЗК) и неоднородной микроструктуры прозвучиваемого материала, большой разницы удельных акустических сопротивлений контактирующих сред, и, в особенности, эффекты дифракционного рассеяния отраженного акустического пучка существенно затрудняют выявление дефектов сцепления материалов и определение их эквивалентной площади S_D в условиях одностороннего доступа. Сущность развиваемого метода заключается в создании таких условий излучения-приема моды отраженной упругой волны (УВ), при которых “расщепленный” на неоднородной границе акустический пучок имеет фазовый сдвиг $\varphi_D \approx \pm\pi$ от разных участков отражения. В работе дано теоретическое обоснование полученным ранее результатам экспериментальных исследований на основе анализа формулы, выведенной для относительной амплитуды из интегрального преобразования Грина и представляемой в виде

$$P^*(M) = \frac{P(M)}{P_0(M)} = \sum_{i=1}^m S'_{i0} R_{iN} F_{i0} \exp(-j\varphi_i), \quad (1)$$

где $F_{i0} = F_i/F_0$, а F_i и F_0 – интегральные функции, характеризующие направленность мнимых источников УЗК, отраженных от i -го участка поверхности площадью S_i и от всей (бездефектной) поверхности S_0 ; $R_{iN} = R_i/R_N$; $S'_{i0} = S'_i/S_0 \cos\beta$; $S'_i = S_i \cos\beta$ и $S'_0 = S_0 \cos\beta = S'_D + S'_N$, соответственно, где знак “'” соответствует апертуре мнимого когерентного источника (МКИ), а индексы D и N – дефектной и бездефектной поверхности. Рассматривая P^* как функционал от комплекса упомянутых параметров, включая углы падения и приема θ , определяются такие условия измерений, при которых достигаются наибольшие изменения P^* при обнаружении дефектной границы или области с минимальной площадью дефекта S_D : а) $|P^*| = [(\operatorname{Re} P^*)^2 + (\operatorname{Im} P^*)^2]^{0,5} \rightarrow 0$; б) $|P^*| \rightarrow \infty$. Изучены особенности эволюции диаграмм направленности МКИ при пересечении акустическим пучком граничной линии L , разделяющей бездефектную и дефектную границы контактирующих материалов в зависимости от положения акустического пучка, отношения “сил источников” $\Xi = S_{DN} R_{DN}$, угла приема $\theta' = \theta - \beta$, а также угла фазового сдвига при отражении от дефектной и бездефектной поверхности и наличия переходной зоны $2c$ между ними. В результате теоретического анализа показано, что наилучшая выявляемость дефектной границы или дефектов достигается при создании условий контроля, когда фазовый сдвиг φ_D наиболее близок к $\pm\pi$. Именно в этом случае (и при $\theta' = 0$) независимо от формы акустического пятна и дефекта

формируется поле отражения УВ, симметричное относительно $\theta'=0$. Последовательное перемещение граничной прямой L или пятна акустического пучка в “дефектную зону” сопровождается появлением локального минимума в окрестности $\theta'=0$ и двух угловых максимумов $\theta'=\pm\theta_M$. Для этих условий зависимость P^* от S_{D0} представляет линейную однозначную функцию, однако вследствие “инвертирования сигнала” обычным приемником УЗК эта зависимость имеет две ветви, сходящиеся в точке $P^*=0$ - при $\Xi=1$. Отметим, что чем больше R_{DN} отличается от единицы, тем больше амплитуда P_B боковых лепестков низшего порядка. Например, при $\frac{3}{7} > R_{DN} > \frac{7}{3}$ и $\theta_{Min1} \geq \theta' \geq -\theta_{Min1}$ $P_B > 0,5P(\pm\theta_M)$. Этот эффект может быть использован для реализации высокой чувствительности метода путем приема отраженного сигнала вблизи характерных углов θ_{ch} , в окрестности которых $F \rightarrow 0$ при $S_D=0$. Существенные изменения P^* при выявлении дефектов с малой площадью, имеют место и при одновременном измерении отношения амплитуд сигналов, отраженных, например, под первым – P_{m1} и вторым – P_{m2} угловыми максимумами $F(\theta')$. Этот подход также эффективен и для случаев, когда сдвиг фазы МКИ существенно отличен от $\pm\pi$. Таким образом, в значительном числе случаев настройка угла θ' приемника колебаний на угловые экстремумы поля МКИ позволяет существенно повысить чувствительность метода по сравнению со случаем, когда прием производится под углом $\theta'=0$.

Для проверки результатов теоретического анализа была разработана экспериментальная установка, позволяющая моделировать процессы формирования акустических полей в трехмерном пространстве. Результаты экспериментальных исследований находятся в хорошем качественном соответствии с расчетными данными.

Приведенные особенности формирования акустических полей УЗК, отраженных от неоднородной границы, указывают на существование эффективного способа выявления и оценки дефектов несцепления материалов, а также качества их “контактирования”. Этот эффект может также использоваться в технике акустических измерений и для других приложений, включая:

- а) определение степени неоднородности структуры материалов в поверхностных слоях;
- б) управление направленностью акустических колебаний и их гашение;
- в) контроль сплошности контактных пленок жидкости и пятна контакта сопрягающихся поверхностей;
- г) выявление дефектов, лежащих вблизи грубо обработанной поверхности.

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