

произведения ряда различных геометрических параметров, являются «образцы шероховатости поверхностей», эталонные зубчатые колеса, резьбовые калибры и др. Так называемые «стандартные образцы» свойств или состава веществ и материалов также являются мерами, которые предназначены для воспроизведения некоторого заданного набора определённых значений физических величин. В частности, стандартные образцы состава вещества (материала) с приписанными им при аттестации значениями величин (относительными долями компонентов), являются мерами состава.

УДК 620.179.1:534.1

О ВОЗБУЖДЕНИИ ВОЛН ЛЭМБА БЕСКОНТАКТНЫМИ СПОСОБАМИ

Баев А.Р.¹, Майоров А.Л.¹, Митьковец А.И.², Бурнос А.В.¹, Гиль Н.Н.¹

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

²Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Один из путей повышения эффективности неразрушающего контроля (НК) физико-механических свойств материалов и наличия в них дефектов состоит в использовании бесконтактных способов и средств излучения и (или) приема упругих мод – волн Лэмба (ВЛ) [1]. Анализ современного состояния акустического контроля показывает, что наиболее перспективными являются комбинированные способы прозвучивания объектов, включая: варианты: I – ПЭП ↔ ЭМАП и ЭМАП → ЭМАП; II – ОАП → ПЭП; III – ОАП → ЭМАП, где ПЭП – контактный пьезопреобразователь, ЭМАП – электромагнитоакустический преобразователь, а ОАП – оптоакустический преобразователь. Ниже представлены результаты экспериментальных исследований, посвященных выявлению особенностей возбуждения-приема ВЛ согласно указанным вариантам измерений – I и II.

Вариант I. В данном случае акцентируется внимание на исследовании магнитоупругого механизма возбуждения ВЛ и их приема согласно представленным на рисунке 1 схемам прозвучивания – при наличии механических напряжений σ и воздействия постоянного намагничивающего поля напряженностью \bar{H} , направленного тангенциально поверхности образцов. Отметим, что в эксперименте используются ЭМАП с замкнутой на ферромагнитную пластину катушкой индуктивности для излучения-приема переменного поля (рисунок 1, а и 1, б). Согласно рисунку 1, в ЭМАП содержится в корпусе поляризованный тангенциально рабочей поверхности постоянный магнит, на обеих сторонах которого (полюсах) расположены ферромагнитные магнитопроводы, один из которых

Рассмотренные особенности применения мер для воспроизведения или индикации физической величины заданного размера позволяют распределить их на три группы:

- носители величины определённого размера;
- генераторы величины определённого размера;
- индикаторы достижения определённого размера величины, генерируемой вспомогательными устройствами.

Принадлежность мер к определённой группе определяет возможности их использования и поверки.

играет роль концентратора магнитного потока, замкнутого на витки катушки индуктивности ЭМАП. Исследование зависимостей амплитуд сигналов от величины растягивающих напряжений $E^*(\sigma, H) = E/E_0$ проведено путем прозвучивания объекта согласно указанным выше схемам.

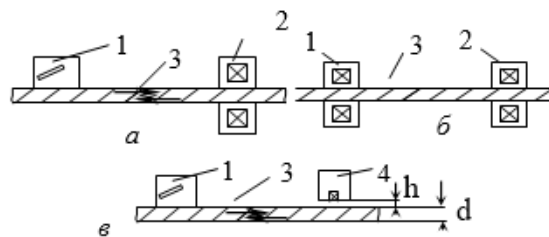


Рисунок 1 – Схемы исследования влияния механических напряжений на возбуждение и прием волн Лэмба в пластине с использованием контактных и ЭМА преобразователей с замкнутой на пластину катушкой индуктора (а, б) и разомкнутой (в):

1 – ПЭП, 2, 4 – ЭМА преобразователи

Вариант II. Возбуждение волн Лэмба осуществляется путем воздействия импульсного излучения, генерируемого лазером с длиной волны 1,06 мкм, на металлическую пластину толщиной 0,75 мм (рисунок 2). Форма пятна излучения, воздействующего на поверхность объекта круг радиусом $r \approx 2,5$ мм. Временная форма импульса подобна колоколу, а его длительностью $\tau \approx 20$ нс. В результате термоупругого эффекта генерируются колебания частиц среды, преобразующиеся в волны Лэмба. Они принимаются ПЭП с углом призмы $\beta = \arcsin(C_{\text{п}}/C_{\text{л}})$, от которого зависят оптимальные условия приема симметричной (s) или асимметричной (a) моды. Им соответствует безразмерное волновое число

$k^* = 2\pi d/C_L$, где C_1 и C_L скорости УЗК в призме ПЭП и моды в пластине. В результате проведенных исследований согласно вариантам I и II установлено следующее.

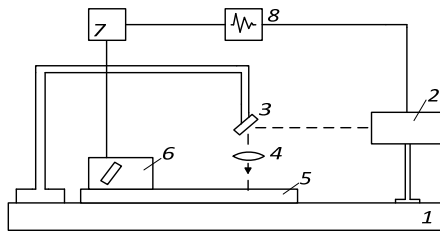


Рисунок 2 – Схема исследования возбуждения волн Лэмба ОА-методом и приема их призматическим ПЭП: 1 – опора; 2–4 – лазерная установка; 5 – металлическая пластина; 6 – ПЭП; 7 – приемник сигнала с ПЭП; 8 – осциллограф

1. В случае воздействия на ферромагнитную пластину растягивающих механических напряжений в широком диапазоне σ до 200–300 МПа и при реализации схем прозвучивания ПЭП \leftrightarrow ЭМАП и ЭМАП \rightarrow ЭМАП, преобладающим является магнитострикционный механизм – прямой и обратный (рисунок 1, а и б). Зависимости $E(\sigma)$, полученные для фиксированных значений напряженностей магнитного поля $H_{\uparrow} \in \{H_{\uparrow}, H_{\downarrow}\}$ на частоте $f = 1,25$ МГц могут быть преимущественно аппроксимированы квазилинейными функциями в диапазоне $\sigma = 0\text{--}200$ МПа. При этом относительное изменение (рост) сигнала $E^* = E/E_0$ может достигать 2–3 раза и более. Характерным является тот факт, что чувствительность рассматриваемых схем измерений к вариации σ имеет характерный оптимум, определяемый ходом кривой магнитострикции $\Lambda(H)$ при $0 < H < H_{\max}$. На рисунке 3б показана возможность оценки величины σ в широком диапазоне ее изменения при использовании схемы прозвучивания объекта ЭМАП \rightarrow ПЭП. При этом катушка индуктивности расположена в корпусе ЭМАП, находящегося на расстоянии от объекта $d=1$ мм. Как показал проведенный анализ, существенное изменение приведенных на рисунке 3а зависимостей может быть объяснено конкуренцией магнитострикционного и лоренцевского механизма в формировании сигнала отклика $E = E(\bar{H}_{L\dot{a}}, \bar{H}_{sr\dot{a}})$. Причем лоренцевский механизм, определяемый электропроводностью материала γ и величиной нормальной составляющей магнитного поля $\bar{H}_{L\dot{a}}$, наиболее существенно проявляется при $h \rightarrow 0$ и реализации схемы прозвучивания ПЭП \rightarrow ЭМАП. Показано, что данные исследований представляют интерес для совершенствования методик оценки величины механических напряжений не только для контроля пластинчатых материалов, но и объемных тел с помощью головных волн.

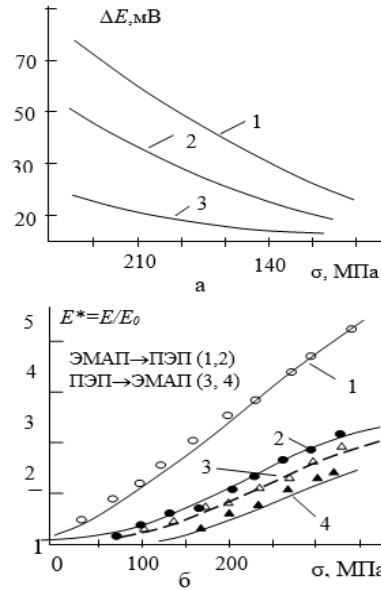


Рисунок 3 – Влияние механических напряжений на амплитудные параметры волн Лэмба при использовании ЭМАП с замкнутой (а) и разомкнутой относительно пластины (б) катушкой индуктивности:

а – разность сигналов $=E_{\uparrow} - E_{\downarrow}$, измеренных на восходящей E_{\uparrow} и нисходящей E_{\downarrow} ветви зависимости $E(H)$ при характерных напряженностях H_{\uparrow} и H_{\downarrow} , соответствующих $\Delta E=0$ и $\sigma=0$; $E/E_{\max}=0,2$ (5); 0,4 (6); 0,8 (7); б – амплитуда ВЛ при высоте расположения ЭМАП над пластиной $h=0$ (2, 3) и 1 мм (1, 4)

2. Апробация комбинированного ОА метода показали его высокую эффективность для возбуждения не только нулевой симметричной s_0 моды, но и других мод, которые могут быть использованы для изучения физико-механических свойств пластинчатых материалов и определения в них дефектов. Для указанных выше условий эксперимента (рисунок 2) установлен ряд особенностей, связанных с существенным влиянием угла призмы ПЭП β на принимаемые моды ВЛ и чувствительность измерительной схемы к выявлению дефектов. В частности показано, что при приеме s_0 моды преобразователем с углом призмы $\beta_1 = 27$ град., в пластине генерируется не только самая быстрая s_0 мода с частотой, близкой к собственной частоте ПЭП ($f_0 = 1,15$ МГц), но и сопутствующая мода с частотой $f_c \approx 3f_0$ и меньшей скоростью распространения. Ее амплитуда E_c превышает амплитуду s_0 моды E_{s_0} практически в 1,5–2 раза. Кроме того обнаружено, что величина E_c изменяется на 13–15 дБ и более при наличии искусственного дефекта в виде тонкой прорези, выполненной с обратной стороны пластины высотой $b \approx 250\text{--}300$ мкм. Изменение же амплитуды s_0 моды не превышает 1–2 дБ. На основе анализа оптоакустического тракта дана трактовка указанным и другим особенностям

возбуждения и распространения волн Лэмба при изменении геометрии пятна лазерного луча, угла приема волн β и высоты дефекта.

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т.: под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение. – Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов [и др.] – 2003. – 864 с.

2. Мужикский В.Ф., Комаров В.А. Особенности электромагнито-акустического преобразования при наличии механических напряжений. I. Приложенные напряжения: экспериментальные данные. Дефектоскопия, №5, 2005. – С. 81–92.

3. Петров Ю.В., Гуревич С.Ю., Голубев Е.В. Экспериментальное определение параметров волн Лэмба при их лазерной генерации. Дефектоскопия, №3, 2010 – С. 45–49.

УДК 621.396.67

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПАКТНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ СИСТЕМ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Будай А.Г., Гринчук А.П., Громыко А.В.

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь*

В лаборатории прикладной электродинамики НИИПФП БГУ в рамках выполнения НИР разработан и реализован на практике универсальный компактный антенный полигон для измерения характеристик различных типов антенных систем.

При выполнении проекта впервые в республике Беларусь:

– поставлена задача, проведена разработка и создан реально действующий экспериментальный образец компактного антенного полигона, – универсальный инструмент для комплексного анализа полей излучения максимального количества типов антенных систем [1];

– образец компактного полигона включает в себя взаимно увязанные экспериментальные образцы радиоголографических измерительных комплексов с планарным и сферическим сканированием [2, 3];

– разработан алгоритм и создано специальное ПО для расчета структуры поля излучения антенной системы на сферической поверхности любого физически реализуемого радиуса (в том числе и в дальней зоне), по результатам измерения амплитудно – фазового распределения поля излучения на поверхности измерения с использованием процедуры БПФ.

Существенным преимуществом разработанного компактного полигона является его универсальность, поскольку в отличие от отдельных стендов, с его помощью могут измеряться характеристики любых типов антенн – слабонаправленных и апертурных антенн, формирующие узкие лепестки диаграмм направленности.

Кроме того в процессе выполнения проекта разработано универсальное программное обеспечение, позволяющее решать следующие задачи анализа структуры полей излучения:

– обрабатывать (вводить в компьютер и преобразовывать результаты измерения (ампли-

туда – фаза или квадратуры), визуализировать их как в одномерном (графики), так и двумерном формате (аксонометрия, картография);

– рассчитывать структуру поля излучения антенных систем на соответствующих поверхностях (плоскость – плоскость, сфера – сфера), расположенных на любом расстоянии от поверхности измерения, в том числе в промежуточной и дальней зонах (диаграмма направленности), а также решать задачу обратной дифракции, т.е. рассчитывать структуру поля в непосредственной близости от излучающего раскрытия, в том числе и в апертуре антенны;

– анализировать структуру полей сложных излучающих систем типа антенна – рассеиватель, антенна – обтекатель, антенна – укрытие (антенна – экран), локализовывать место расположения рассеивателей и определять степень влияния укрывающих конструкций на характеристики антенной системы по сравнению с характеристиками свободной антенны.

Также разработаны комплексные методики оценки погрешностей восстановления дальнезонных характеристик антенн по результатам измерения на изготовленных экспериментальных образцах радиоголографических измерительных комплексов, отличительной особенностью которой является использование только экспериментальных результатов, полученных на данном стенде, что не накладывает никаких предварительных ограничений на величины и законы распределения погрешностей. В предложенной оценке максимально учтены все механизмы формирования погрешностей, причем оценка дается в комплексе, а не по отдельным параметрам (например, погрешность позиционирования или отклонения от поверхности измерения). Предложенная оценка позволяет реально оценить динамический диапазон восстанавливаемых дальнезонных характеристик при заданной вели-