УДК 620.179.16 О ВЫЯВЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ДВИЖУЩИМСЯ ЛУЧОМ ИМПУЛЬСНО-ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. Р. БАЕВ, ^{*}В. Г. ГУДЕЛЕВ, ^{*}А. И. МИТЬКОВЕЦ, И. В. СТОЙЧЕВА, Д. А. КОСТЮК ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси» ^{*}ГНУ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ НАН Беларуси» Минск, Беларусь

В работе обращено внимание на особенности комбинированного импульсно-лазерного (ИЛ) ультразвукового контроля объектов на предмет выявления поверхностных трещин, пор, инородных включений методом движущегося луча, акустический отклик от которого – поверхностная акустическая волна (ПАВ) принимается пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП). Существуют два основных направления ИЛ контроля поверхностных дефектов, причем первое из них является традиционным и подобно тому, что реализуется в ультразвуковой дефектоскопии [1]. Так, о наличии дефекта на поверхности, как правило, судят по изменению амплитуды А, отраженной или прошедшей через него волны. При этом зона возбуждения и приема ПАВ (*S*_{ПЛЛ}) находится вне дефекта. Во втором случае о дефекте судят по изменению зондирующего сигнала при пересечении ПЛЛ дефектной области S_D [2]. Так что для тензора напряжений T_{ik} и теплового потока *q* в области $X \subset S_{\Pi,\Pi,\Pi}$ нарушаются граничные условия и следует ожидать значимого изменения амплитудно-частотных характеристик A(ω) возбуждаемых ПАВ. Для проверки возможностей метода обнаружения поверхностных дефектов проведены экспериментальные исследования, где основное внимание уделено влиянию геометрии и координаты ПЛЛ на амплитуду и форму принимаемого сигнала ПАВ.

Экспериментальная схема исследований поясняется рисунком 1 и содержит источник импульсного лазерного излучения, систему коррекции сечения светового пучка, падающего на исследуемый образец, приемника ПАВ на частоту 2,7 МГц. В качестве объекта исследований использован образец №1 с усталостной трещиной на металле с раскрытием b≈4 мкм и глубиной h≈0,3–0,4 мм и № 2 – b≈0,5 мкм и h <0,2 мм. Некоторые данные исследований приведены на рис. 2 и 3.

Как установлено (рис. 3), зависимость амплитуды зондирующего сигнала A(x) имеет ярко выраженный максимум, достигаемый при расположении центра ПЛЛ, имеющего формы длинной полосы или круга, в окрестности трещины или поры ($x\sim0$), выходящие на поверхность. Причем максимальное увеличение амплитуды сигнала, характеризуемое амплитудным коэффициентом $\varepsilon_A = A_{max} / A_x$, достигает 7–8 раз, если ширина ПЛЛ d выбрана оптимальной (резонансной) величиной, характеризуемой безразмерным параметром $d^*=d/\lambda_{\Pi AB}=1,8-2,2.$



Рис. 1. Схема эксперимента: режим прохождения ПАВ (а) и эхо-режим (б): 1 – лазер; 2 – устройство коррекции луча; 3 – ППЛ; 4 – объект; 5 – приемник ПАВ; 6 – усилитель; 7 – блок обработки; 8 – трещина



Рис. 2. Сигнал ПАВ при изменении положения ПЛЛ в форме длинной полосы на образце с трещиной шириной b≈8 мкм: x, 10-3 м =3 (a); -3 (б); 0,5 (в); -0,5 (г); ось ординат в Вольтах, а ось абсцис в мс

Как видно (см. рис. 2), перемещение ПЛЛ через трещину сопровождается заметным изменением «вступительной» части импульса, составляющего некоторый временной интервал (два-три его периода осцилляции), что, естественно, сопровождается изменением спектра импульса.



Рис. 3. Амплитуда ПАВ в зависимости от положения ПЛЛ относительно трещины (а) и от безразмерной ширины ПЛЛ $d^*(6)$: (а) – $d^*=2,2$ (1); 0,2 (2); 5 (3); (б) A_x взято при x=-4 мм (1) и 4 мм (2)

Кроме того, обнаружено появление "сателлитов" ПАВ, имеющих значительно меньшую амплитуду и, как показано в настоящей работе, вызвано эффектами трансформации ПАВ на трещине в объемную моду и обратно. Амплитудные изменения сигнала на приемном преобразователе при зондировании усталостной трещины с малым (предельным) раскрытием (~0,5 мкм) и длиной ~3 мм составляли не более 2-х и 3-х дБ. При этом в качестве признака, характеризующего наличие дефекта, может быть использовано именно изменение формы «вступительной» части осцилляции импульса или его спектра. Также установлено, что с помощью рассматриваемого метода представляется возможным выявлять усталостные трещины и на шероховатой и загрязненной поверхности объекта контроля

Результаты настоящих исследований представляют интерес для повышения чувствительности и надежности контроля объектов, расположенных в трудно доступных местах и имеющих сложный рельеф. В частном случае, приемник (приемники) ПАВ может располагаться на движущемся объекте, а возбуждение колебаний производится со стационарной (неподвижной) установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2006. – Т. 3. – 864 с.

2. Laser ultrasonic detection of surface breaking discontinuities: scanning laser source technique / A. K. Kromine [etc.]. // Mater. Evaluation. – 2000. – Vol. 58. – 173 p.