

УДК 620.179.1+534.1

ИМПУЛЬСНО-ЛАЗЕРНЫЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТАКТНЫЙ МЕТОДЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

Баев А.Р.¹, Митьковец А.И.², Асадчая М.В.¹, Костюк Д.А.³¹Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь²Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь³Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

Использование импульсно-лазерного (ИЛ) бесконтактного метода возбуждения и приема акустических волн является одним из направлений дефектоскопии и структуроскопии твердых тел [1]. Однако отсутствие чувствительных и компактных средств приема упругих волн является главным препятствием для применения этого метода. В настоящее время перспективно использование комбинированного метода, сочетающего ИЛ-возбуждение ультразвуковых колебаний (УЗК) и прием последних контактными пьезопреобразователями (ПЭП). Отличие рассмотренного и исследованного ниже метода от традиционных методов заключается в том, что поверхностные дефекты выявляются по данным изменения параметров поверхностных волн (ПАВ), возбуждаемых пятном лазерного луча (ПЛЛ) площадью S_L , именно в процессе пересечения зоны расположения несплошности площадью S_D [2]. При этом нарушаются граничные условия для тензора напряжений T_{ik} и теплового потока q в области $X \subset S_L$ и следует ожидать значимого изменения амплитудно-частотных характеристик $A(\omega)$ ПАВ. Для проверки возможностей рассматриваемого метода обнаружения дефектов типа трещин и пор проведены экспериментальные исследования (рисунок 1), где основное внимание уделено влиянию геометрии и положения ПЛЛ на амплитуду A и форму акустического сигнала на приемном преобразователе ПАВ.

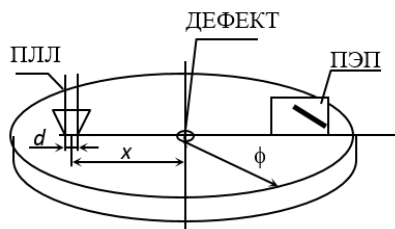


Рисунок 1 – Схема эксперимента

В качестве объекта исследований использованы стальные образцы с усталостными трещинами и модельной порой диаметром $d=1$ и 2 мм. Трещина образца №1 – длина $b \approx 20$ мм, ширина $d \approx 4$ мкм, глубина $h=400-450$ мкм; образца №2 –

$b \approx 3$ мм, $h \approx 200-300$ мкм, $d \approx 0,5$ мкм. Источником импульсно-лазерного излучения с длиной волны $1,06$ мкм служит генератор LS-2137 с устройством коррекции сечения ПЛЛ. ПАВ принимаются пьезопреобразователем, сигнал с которого подается после усиления на вход прибора “Spectronic” TDS 3052B для анализа его амплитуды и спектра. Частота следования лазерных импульсов 10 Гц. ПЛЛ формируется в виде вытянутой полосы либо круга с изменяемым поперечным сечением. Режим возбуждения ПАВ термоупругий. Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 2-5, на которых представлены характерные особенности изменения параметров зондирующего сигнала и поля его рассеяния на модельной поре. Как видно (рис.2), при пересечении ПЛЛ трещины наблюдается существенное изменение не только амплитуды, но и “вступительной” части импульса, занимающей временной интервал его осцилляции $\tau = (2-3)f^{-1}$, где f – частота волны.

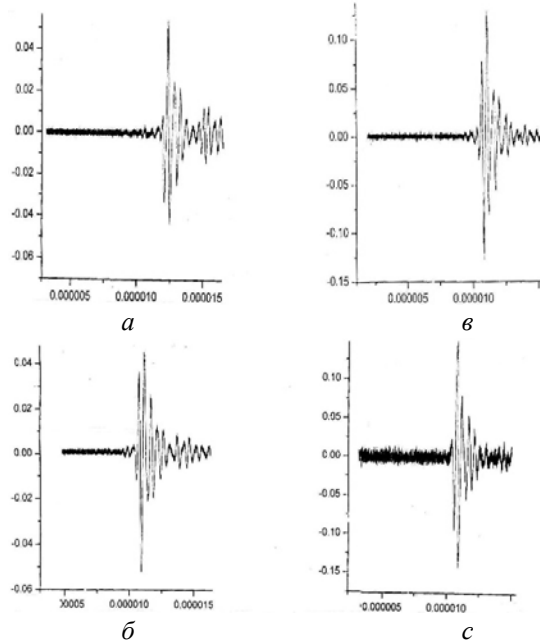


Рисунок 2 – Осциллограммы ПАВ при перемещении ПЛЛ через трещину: $d \approx 4$ мкм; $x, 10^{-3}$ м = 3 (а); -3 (б); 0,5 (в); -0,5 (г); единицы измерений: по оси ординат – В, по оси абсцисс – мс

Этот эффект сопровождается изменением спектра импульса, а также появлением “сателлитов” ПАВ, появляющихся (как установлено) в результате трансформации на вершине трещины в поперечную волну, которая, после отражения от оппозитной стенки образца, опять трансформируется в ПАВ. При этом зависимость амплитуды волны $A(x)$ имеет ярко выраженный максимум при расположении центра ПЛЛ в окрестности центра трещины (рис. 3). Максимальное же увеличение амплитуды сигнала, характеризуемое амплитудным коэффициентом $\varepsilon_A = A/A_0$, достигает 7-8 раз, если ширина ПЛЛ выбрана оптимальной величины, характеризуемой безразмерным параметром $d^* = d/\lambda_{ПЛАВ} = 1,8-2,2$, где A_0 соответствует минимуму амплитуды сигнала при положении центра ПЛЛ в окрестности $-4 \text{ мм} \leq x \leq 4 \text{ мм}$.

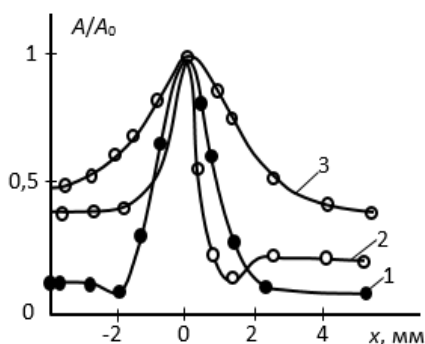


Рисунок 3 – Амплитуда ПАВ при разном положении ПЛЛ относительно трещины: $d^*=2,2$ (1); 0,2(2); 5(3)

Амплитудные же изменения ПАВ при перемещении ПЛЛ через трещину с предельным раскрытием (шириной $\sim 0,5 \text{ мкм}$) и длиной $\sim 3 \text{ мм}$ составили [2] не более 25-30%. Однако, при этом признаком, характеризующим наличие дефекта, может служить форма “вступительной” части осцилляции импульса, **обусловленная сложным характером формирования поля ПАВ в окрестности трещины**. Весьма интересным с точки зрения механизма оптоакустического взаимодействия и важным для практики является тот факт, что при отношении площади ПЛЛ к площади несплошности (модельной поры) ~ 25 величина $\varepsilon_A = A/A_0$ изменяется в $\sim 5-6$ раз (рис.4, 5), что свидетельствует о возможности достижения высокой производительности контроля. При этом, так называемый “захват” контролируемой поверхности объекта при сохранении его высокой чувствительности может быть весьма боль-

шим. С другой стороны, путем уменьшения поперечного сечения ПЛЛ представляется возможным достаточно легко обнаруживать несплошности типа поры с поперечным размером, составляющим десятые доли мм.

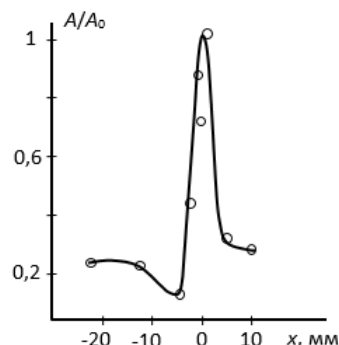


Рисунок 4 – Амплитуда ПАВ при движении ПЛЛ диаметром 6 мм вдоль x и пересечении модельной поры

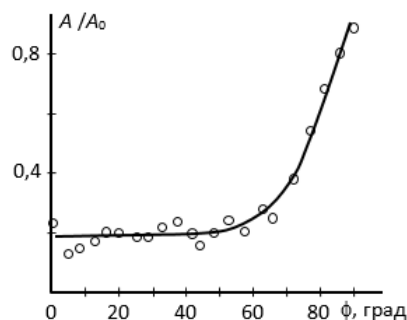


Рисунок 5 – Поле рассеяния ПАВ при локализации ПЛЛ на модельной поре

Работа выполнена при частичной поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. Т.3: Ультразвуковой контроль./ И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге; под ред. чл.-корр. РАН В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – 832 с.
2. Sridhar Krishnaswamy Theory and Application of Laser-Ultrasonic Techniques, in *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol. 20A, Thompson, D.O. and Chimenti, D.E., Eds., Plenum Press, New York, 2003, pp.436-492.
3. Гусев, В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. Москва: Наука, 1991. – 304 с