

К ВОПРОСУ О СВЯЗИ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АКУСТООПТИЧЕСКОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ С ПАРАМЕТРАМИ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ¹

А.Ю. Гузов, Е.В. Пивоварова

Рассмотрен акустооптический метод неразрушающего контроля многослойных материалов и изделий из них. Осуществлена количественная оценка влияния величины изменения акустических и геометрических параметров многослойной среды на величину интенсивности света в дифракционных максимумах раман-натовского спектра.

Многослойные материалы, методы контроля, акустооптика, дифракция Рамана-Ната

Широкое использование многослойных материалов и изделий на их основе требует получения достоверной информации об их физико-механических и геометрических параметрах. Акустические методы неразрушающего контроля, традиционно применяемые с этой целью, используют в качестве информационного параметра амплитуду акустической волны, а информация, содержащаяся в её фазе, теряется. Существенное влияние на результаты измерений оказывают также помехи и шумы: электрические флуктуации в элементах электронной схемы на входе приёмника-усилителя ультразвукового дефектоскопа, помехи преобразователя, структурные помехи при рассеянии ультразвука на неоднородностях материала. Акустические методы позволяют зафиксировать изменение толщины объекта контроля порядка 0,2-0,5мм. Выявление структурных неоднородностей требует использования специальных методов контроля.

Одним из направлений решения указанных проблем может быть создание и использование новых методов неразрушающего контроля, основанных на взаимодействии излучений различной физической природы. Таким методом является акустооптический метод, основанный на преобразовании информации, переносимой акустической волной, прошедшей через объект, в принимаемый световой сигнал. Использование приёмников, построенных на оптической элементной базе, позволяет зафиксировать более слабые акустические сигналы, чем при использовании пьезоэлектрических преобразователей, применяемых при акустическом контроле, а также повысить точность за счёт измерения как амплитуды, так и фазы акустической волны.

В основу такого метода положена теория дифракции Рамана-Ната, обусловленная линейным эффектом акустооптического взаимодействия (этот режим дифракции соответствует диапазону ультразвуковых частот, являющихся оптимальными для использования в области неразрушающего контроля).

Акустическая волна внутри оптически и акустически прозрачных сред создаёт периодическую последовательность изменений показателя преломления, то есть фазовую решётку, период которой определяется длиной звуковой волны. Пройдя через эту решётку под углом, близким к нулю, свет дифрагирует, образуя набор значительного числа дифракционных максимумов, расположенных симметрично относительно направления падающего света [1].

При моделировании процессов дифракции за основу принята схема, в которой многослойный объект располагается в жидкой среде (с номером $n+1$), а пьезопреобразователь

¹ Статья подготовлена в ходе научно-исследовательской работы студентов на кафедре «Физика» электротехнического факультета

генерирует ультразвуковую волну (См. рисунок 1). Если зондирующая акустическая волна отражается от объекта с эталонными значениями акустических и геометрических параметров, то дифракционный спектр, получаемый на выходе оптического канала служит в качестве опорного. Отражённая от объекта информационная волна нарушает регулярность фазовой решётки и, как следствие, мы регистрируем перераспределение света в дифракционных порядках.

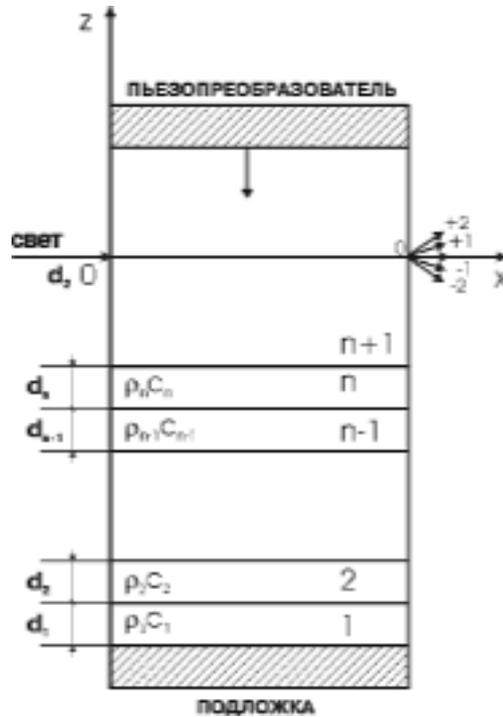


Рис.1. Схема контроля многослойной структуры в режиме отражения.

Интенсивность света в дифракционных максимумах связана с амплитудой и фазой звуковой волны, несущей, как известно, информацию о толщине и импедансе объекта контроля. В случае однослойного объекта:

$$I_i = I_{\Pi} J_i^2 \left(\frac{\pi n_0^3 p x}{\lambda_a} \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \varphi} \right), \quad (1)$$

где I_i – интенсивность света в i -ом дифракционном максимуме; $i=0; \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$, I_{Π} – интенсивность падающего света, J_i – функция Бесселя i -ого порядка, x – координата вдоль направления распространения акустической волны, n_0 – показатель преломления локализованной среды взаимодействия, p – упругооптическая постоянная, φ – разность фаз между волнами, отражёнными от верхней и нижней поверхности объекта, A_1 и A_2 – амплитуды акустических волн, отражённых от верхней и нижней поверхностей объекта, определяемые параметрами объекта и сред, находящихся в соприкосновении с его поверхностью. Например, выражение для амплитуды A_1 можно записать в виде[2]:

$$A_1 = \left(\frac{Z_n^2 + Z_{n+1}^2 \left(1 + (\delta_n \lambda_a / 2\pi)^2 \right) - 2Z_{n+1} Z_n}{Z_n^2 + Z_{n+1}^2 \left(1 + (\delta_n \lambda_a / 2\pi)^2 \right) + 2Z_{n+1} Z_n} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $Z_{n+1} = \rho_{n+1} c_{n+1}$ – импеданс среды взаимодействия, $Z_n = \rho_n c_n$ – импеданс объекта контроля, c_{n+1} , c_n – скорость звука в среде взаимодействия и в объекте, ρ_{n+1} , ρ_n – плотность среды взаимодействия и объекта, δ_n – коэффициент затухания акустической волны в объекте.

Следует отметить, что основная часть энергии дифрагированного света содержится в 0-ом и ± 1 -ых дифракционных максимумах, которые и несут основную информацию об измеряемых параметрах при акустооптическом методе контроля. Однако, значительные различия в их интенсивности (интенсивность в ± 1 -ых порядках составляет 10-25% интенсивности в 0-ом порядке) требуют их раздельной регистрации с использованием специальных измерительных схем. Вследствие этого, наиболее чувствительными к исследуемым параметрам объекта является отношение I_0/I_1 .

Результаты расчётов приведены на *рисунке 2* в виде зависимости интенсивности света в 0-ом и 1-ом дифракционных максимумах от импеданса объекта контроля Z . Значения интенсивности света представлены в нормированном виде, например, I_0/I_H , где I_H – значение, которое определено при идеальных справочных значениях акустических параметров ρ , c и δ . Следовательно, любое отклонение от единицы свидетельствует о нарушении качества объекта контроля. Величина изменения толщины оценивается аналогично величине импеданса. Результаты расчётов представлены на *рисунке 3*.

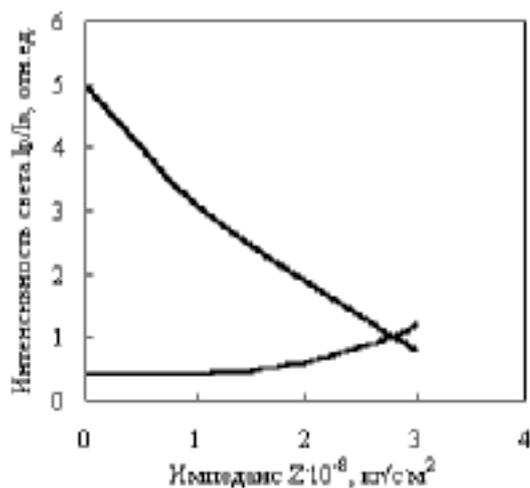


Рис. 2. Зависимость интенсивности света в 0-ом и 1-ом дифракционных максимумах от импеданса объекта контроля Z

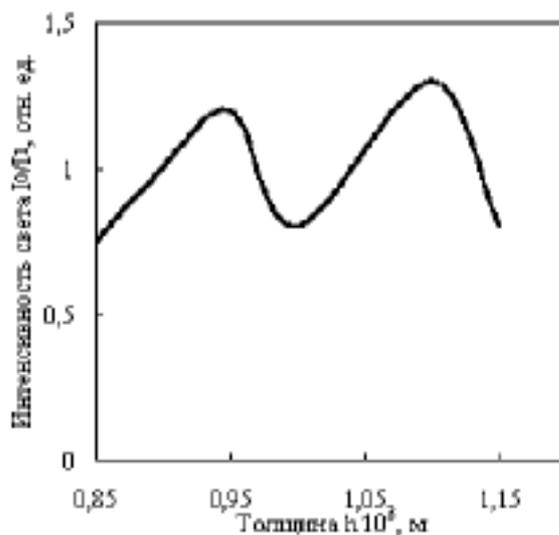


Рис. 3. Изменение I_0/I_1 в зависимости от толщины объекта

Анализ результатов показывает существование количественной взаимосвязи между изменением акустических и геометрических параметров многослойной среды и величиной интенсивности света в дифракционных максимумах раман-натовского спектра, что позволяет использовать акустооптический метод неразрушающего контроля для оценки параметров слоистых материалов и изделий из них.

Литература

1. *Балакиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е.* Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.-280с.
2. Акустооптический способ контроля и устройство для его осуществления: пат. 2067760РФ,С16G01N29/04/*С.С. Сергеев, Е.В. Пивоварова.* Белорусско-Российский университет - № 4944596/28; заявл. 13.06.91; опубл. 10.10.96//Офиц.Бюл. № 28-7с.

Гузов Андрей Юрьевич

Студент электротехнического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(222)466788

Пивоварова Елена Валентиновна

Ассистент кафедры «Физика»
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(222)251268