

УДК 621.179÷534.1

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ
УПРУГИХ ВОЛН ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

А.Р. БАЕВ, А.Л. МАЙОРОВ, В.Г. ГУДЕЛЕВ, Д.А. КОСТЮК

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

Несмотря на большое число публикаций, посвященных разработке методов импульсно-лазерного контроля в технике акустических измерений, ряд важных для практики вопросов требуют тщательного анализа и исследования. В настоящей работе рассмотрены особенности формирования акустических полей с помощью системы лазерных источников применительно к возбуждению упругих волн (УВ) в объектах как с плоской, так и криволинейной поверхностью радиуса $0 \leq R^* = R/\lambda < \infty$, где λ – длина возбуждаемой моды. Показано, что в ряде случаев для повышения эффективности измерений и организации «доабляционного» режима возбуждения УВ могут быть применены магнитные жидкости, управляемые внешними полями.

Используя выражения $\Phi(\alpha)$ для элементарных источников звука, было проведено численное моделирование полей излучения лазерных систем с управляемой фазовой задержкой φ_n между лазерными источниками волн (ЛИВ). Предполагается: длительность акустического импульса (обезразмеренная) составляет $\tau = 2\pi k$, где k – число периодов волны в импульсе, равное $0,5 - \infty$, а количество ЛИВ варьируется от $n_0 = 2$ до 14; ширина – $d_i \ll \lambda$, а их длина $L \gg 2a_0$, где $2a_0$ – поперечный размер области излучения. Проведен расчет параметров $\Phi(\alpha)$, определяемой для ЛИВ при различных углах ввода α_0 в объекты с цилиндрической и плоской поверхностью, когда линейные источники звука расположены вдоль образующей цилиндра. При этом вводится дополнительная временная (фазовая) задержка, учитывающая кривизну объекта:

$$\Phi(\alpha, \alpha_0) = \sum_{n=1}^{n_0} A_n(\alpha, \alpha_0) \delta_n \exp[-i(\varphi + \varphi_{0n})] f_n(r),$$

где $A_n(\alpha, \alpha_0)$ – угловой коэффициент амплитуды элементарного источника (ЭИ), зависящий от режима возбуждения акустического импульса, угла наблюдения и безразмерного геометрического параметра $\eta_{nR} = a_n/R^*$, где a_n – безразмерная координата положения ЭИ; $f(r)$ – функция ослабления волны с расстоянием; $\delta_n = \delta_n(\varphi)$ – ступенчатая функция (функция Хэвисайда): $\delta_n = 1$ при $\varphi_{0n} \leq \varphi \leq \varphi_{0n} + 2\pi k$ и $\delta_n = 0$ при $\varphi_{0n} + 2\pi k \leq \varphi \leq \varphi_{0n}$. Предполагаем, что $A_n(\alpha) = 0$ при



$$\arcsin \eta_{nR} \geq 90^\circ - \alpha; \quad \varphi_{0n} = \arcsin[(a_n (\sin \alpha - \sin \alpha_0) + R^* (1 - \sqrt{1 - \eta_{nR}^2}) (\cos \alpha - \cos \alpha_0))]; \quad a_n = \frac{3\pi(2n - n_0 - 1)}{n_0 - 1}.$$

На основе проведенных расчетов выявлены закономерности изменения диаграммы направленности продольных и поперечных мод для различных углов ввода в объекты, включая угол $\alpha_0 = \alpha_0(\tau_i) = 0,5\pi$. Сопоставление данных расчета полей подповерхностных волн, возбуждаемых ЛИВ, с экспериментальными данными показало их неплохое соответствие.

Необходимо отметить, что в ряде случаев, когда требуется обеспечить стабильный ввод УВ, обеспечить широкополосность для вводимого в объект сигнала, могут быть применены магнитные жидкости (МЖ) – класс высокоустойчивых коллоидных растворов, управляемых магнитным полем. Проведен анализ особенностей возбуждения звука лазерным излучением в зависимости от внешнего магнитного поля, концентрации магнетика в коллоиде q и дисперсионной основы – органической и неорганической. Выведена формула для функции оптоакустического преобразования света в звук Y_{LS} в зависимости от состава коллоида, упругих и теплофизических свойств компонентов, а также контактирующих с МЖ сред. Проведены экспериментальные исследования и получена зависимость Y_{LS} от указанных выше факторов. Показано, что независимо от дисперсионной основы $Y_{LS}(q)$ имеет глобальный максимум при некотором характерном значении q^* , которые определяется свойствами входящих в раствор компонентов.

Рассмотрена принципиальная возможность использования МЖ для определения размеров поверхностных трещин, для контроля толщины тонкостенных изделий с $h < 0,5$ мм и радиусом кривизны $\pm 1,5$ см. В последнем случае используется комбинированное устройство, в котором возбуждение УВ осуществляется лазерным импульсом, а прием – высокочастотным ПЭП.

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

