

УДК 620.179  
 КРАЕВЫЕ ВОЛНЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНОЙ НА  
 КРОМКЕ ВЫСТУПА

А.Р. БАЕВ, М.В. АСАДЧАЯ, О.С. СЕРГЕЕВА, Л.М. СМОВЖ  
 Государственное научное учреждение  
 «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
 Минск, Беларусь

Значительное число объектов теплоэнергетики, химического машиностроения и других отраслей промышленности часто имеют различные выступы, радиусные переходы (РП) сопрягаемых поверхностей и другие изменения профиля поверхности, что затрудняет их контроль при одностороннем доступе. Для этих целей эффективны методы, основанные на использовании поперечных подповерхностных (STV) волн. Как показано, при этом наряду с основной модой возбуждается и высокоинтенсивная волна Рэлея (RW), являющаяся источником краевых волн. В настоящей работе представлены результаты исследования возможностей использования сугубо волны Рэлея для контроля объектов с выступами и радиусными закруглениями. Для этого случая проведен теоретический анализ акустического тракта ультразвукового дефектоскопа и выполнен комплекс экспериментальных исследований в диапазоне частот  $f = 1-5$  МГц и радиусов перехода 0-9 мм.

Положим  $r' = r/\lambda_R > 4-5$ . Тогда, используя уравнения энергетического баланса применительно к случаю трансформации поверхностной моды в краевые, а также учитывая радиальное направление излучения объемных мод на элементарном участке поверхности РП  $dl = r d\varphi$ , получим

$$dW_R/dt = C_R dW_R/dl = -K(C_T U_T + C_L U_L) = C_T U_T (1 + \delta),$$

где  $W_R = \int_{r+\Delta r}^r U_R dr$  – энергия поверхностной моды в объеме тела,

заключенного в области  $\{r=r_0, r=r_0+\Delta r\}$  для участка  $l$  единичной длины и с характерной глубиной локализации энергии RW  $\Delta r \ll r_0$ ;  $U_R = U_R(r, \varphi)$ ,  $U_T(r, \varphi)$  и  $U_L(r, \varphi)$  – плотности энергии потока RW, STV и продольной моды, соответственно, в окрестности поверхности РП;  $\delta = C_L U_L / C_T U_T$ . При этом нормализованная зависимость амплитуды переизлучаемой моды  $P_T^* = P_T(\varphi) / P_{T0}$  может быть представлена в виде:

$$P_T^* = K_{RT} r_\lambda \sqrt{\gamma_\lambda(r^*, \kappa)} P_{R0} \exp(-\gamma r^* \varphi \pi / 2),$$

где  $\gamma$  – коэффициент ослабления амплитуды PR на длину рэлеевской волны, причем величина его является убывающей функцией от  $r' = r_0 / \lambda_R$ , которая при  $r^* \rightarrow \infty$  стремится к нулю быстрее, чем кривизна радиусного перехода.

Если  $\varphi \rightarrow 0$ , то  $P_{RT} \rightarrow \gamma_0$ , а на выходе радиусного перехода при  $\varphi \rightarrow \pi/2$   $P_{RT} \rightarrow K_{RT} P_{R0} \gamma_0 \exp(-\gamma r^* \pi / 2)$ .



Как показали первые опытные данные, структура поля, измеренная на стальных образцах с выступом, зависит от положения самого преобразователя поверхностной волны и в ряде случаев может существенно отличаться от расчетной. Оказывается, что при возбуждении RW моды одновременно излучается и подповерхностная STV мода, которая всего на 8 – 9 дБ меньше базовой – RW моды. Т.е., вклад STV моды в суммарное поле может быть весьма значительным. И чем дальше ПЭП отстоит от РП, тем меньше влияние «дополнительного источника» на результирующее поле в объеме выступа. (При изменении расстояния до выступа изменяется также и сдвиг фаз между волной Рэлея и STV модой). Следует отметить, что для эффективного взаимодействия «базовой» и «дополнительной» моды необходимо, чтобы разница фаз  $\Delta\psi$  в точке наблюдения не превышала  $2\pi m_0$ , где  $m_0 \sim 3-4$ . На основании проведенного анализа и экспериментальных исследований усовершенствована теоретическая модель формирования результирующего акустического поля, находящаяся в хорошем качественном соответствии с данными эксперимента при  $r^* < 1-2$ .

Исследования показали высокую эффективность использования краевых волн, возбуждаемых RW преобразователями, для выявления вертикально ориентированных дефектов, как в плоскости, проходящей через контактную поверхность, так и в окрестности ее.

E-mail: [baev@iaph.bas-net.by](mailto:baev@iaph.bas-net.by)

