

ЛИТЕРАТУРА

1. Стремоусов В. И., Рубцов А. С., Школьников В. А. Скорость ультразвука и сжимаемость некоторых жидких бинарных сплавов. — ЖФХ, 1968, т. 42, с. 69–71.
2. Марков Б. Г. Скорость ультразвука и теплофизические свойства металлов Sn, Pb, Cd и бинарных сплавов PbSn и PbCd. — Теплофизика высоких температур, 1975, т. 13, № 5, с. 1108–1112.
3. Стремоусов В. М., Марков Б. Г. Скорость ультразвука и сжимаемость металлических сплавов SnZn, SnBi. — ЖФХ, 1972, т. 46, с. 712–743.
4. Криштал М. А., Головин С. А. Внутреннее трение и структура металлов. М.: Металлургия, 1976. 375 с.
5. McAllister S. P., Grozier E. D., Cochran J. F. The velocity of Sound in liquid Magnesium — Bismuth alloys. — The properties of liquid metals, 2nd International Conf.: Tokyo, 1972, p. 445–450.
6. Лысов В. И., Федоров В. Е., Харьков Е. И., Цыганов Н. Л. Термодинамические функции жидких бинарных сплавов непереходных металлов в рамках метода псевдопотенциала. — В кн.: Физика жидкого состояния. Киев: Вища школа, 1981, № 9, с. 15–33.

Киевский государственный
университет
им. Т. Г. Шевченко

Поступила в редакцию
19.IV.1982

УДК 534.24

О СВЯЗИ МЕЖДУ БОКОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА И КОЭФФИЦИЕНТОМ ЗАТУХАНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ВОЛНЫ

Свиридов Ю. Б.

Явление бокового смещения ультразвукового пучка на границе жидкость — твердое тело изучалось в работах [1–8], однако до сих пор не была исследована связь между боковым смещением пучка и коэффициентом затухания нормальной волны, возбуждаемой этим пучком. Указанная взаимосвязь анализируется ниже для случая, когда коэффициент затухания нормальной волны вследствие излучения в жидкость значительно меньше ее постоянной распространения.

Рассмотрим вначале однородное, изотропное твердое полупространство, граничащее с жидкостью. Используя результаты работ [1, 3], получаем

$$\Delta r_{\text{отр}}(k_0) |_{k_t < k_0 < k_1} = - \frac{2C\delta_R'(k_0)}{\delta_R^2(k_0) + C^2}, \quad (1)$$

$$\text{где } \delta_R(k) = \frac{\left(k^2 - \frac{1}{2}k_t^2\right)^2 \sqrt{k_1^2 - k^2}}{k_1^4 \sqrt{k^2 - k_t^2}} - \frac{k^2 \sqrt{(k_1^2 - k^2)(k^2 - k_t^2)}}{k_1^4},$$

$$C = \frac{1}{4} \frac{\rho_1}{\rho} \left(\frac{c_1}{c_t}\right)^4, \quad \delta_R'(k) \equiv \frac{d\delta_R(k)}{dk}, \quad k_{1,t} = \omega/c_{1,t};$$

ρ_1, c_1 и ρ, c_t — акустические параметры жидкости и твердого полупространства; $k_0 = k_1 \sin \theta_0$; θ_0 — угол падения центрального луча в пучке.

В точке $k_0 = k_R = \omega/c_R$ (c_R — скорость рэлеевской волны) боковое смещение пучка достигает максимума

$$\Delta r_{\text{отр}}(k_R) = -2\delta_R'(k_R)/C, \quad (2)$$

поскольку $\delta_R(k_R) = 0$.

Решая дисперсионное уравнение $\delta_R(k) + iC = 0$ методом возмущений, получаем следующую формулу для волнового числа поверхностной волны:

$$k_{\text{п}} = k_R - iC/\delta_R'(k_R) + O(C^2). \quad (3)$$

Сравнивая формулы (2) и (3), приходим к выражению

$$\Delta r_{\text{отр}}(k_R) \approx 2/\alpha_{\text{п}}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{п}} = \text{Im } k_{\text{п}}$ — коэффициент затухания поверхностной волны вследствие излучения в жидкость.

Отсюда, учитывая формулу для $\Delta_{\text{отр}}(k_R)$, полученную в работе [7], находим

$$\alpha_{\text{н}} \approx \frac{2}{\Delta_{\text{отр}}(k_R)} = \frac{k_1 \rho_1 \sqrt{s(s-1)} (2s-1) (s-q)}{2\rho \sqrt{r(r-s)} 2s [s(3-q) - 2s^2(1-q) - 2q]}, \quad (5)$$

где $q = (c_l/c_l)^2$, $r = (c_l/c_l)^2$, $s = (c_l/c_R)^2$. Формула (5) совпадает с выражением для $\alpha_{\text{н}}$, найденным в [9] несколько иным путем, что подтверждает справедливость соотношения (4).

Рассмотрим теперь случай падения пучка на пластину в жидкости. Из результатов работы [7] следует

$$\Delta_{\text{отр}}(k_{a_n}^0) = -\frac{\Delta_{a'}(k_{a_n}^0)}{C} + \frac{G\Delta_{s'}(k_{a_n}^0)}{|\Delta_s(k_{a_n}^0)|^2} \quad (6)$$

$$\Delta_{\text{отр}}(k_{s_n}^0) = \frac{\Delta_{s'}(k_{s_n}^0)}{C} - \frac{C\Delta_{a'}(k_{s_n}^0)}{|\Delta_a(k_{s_n}^0)|^2}, \quad (7)$$

где $\Delta_{a,s}(k)$ — функции, использованные в [10]; k_{a,s_n}^0 — вещественные корни дисперсионных уравнений Рэлея — Лэмба:

$$\Delta_a(k) - iC = 0 \quad \text{и} \quad \Delta_s(k) + iC = 0; \quad \Delta_{a,s}(k) \equiv (d/dk)\Delta_{a,s}(k).$$

Решая дисперсионные уравнения $\Delta_{a,s}(k) = 0$ методом возмущений, получаем следующие выражения для волновых чисел нормальных волн:

$$k_{a_n} = k_{a_n}^0 - \frac{iC}{\Delta_{a'}(k_{a_n}^0)} + O(C^2), \quad (8)$$

$$k_{s_n} = k_{s_n}^0 + \frac{iC}{\Delta_{s'}(k_{s_n}^0)} + O(C^2). \quad (9)$$

Сравнивая формулы (6), (7) и (8), (9), приходим к соотношениям

$$\Delta_{\text{отр}}(k_{a_n}^0) \approx \frac{1}{\alpha_{a_n}} + \frac{C\Delta_{s'}(k_{a_n}^0)}{|\Delta_s(k_{a_n}^0)|^2}, \quad (10)$$

$$\Delta_{\text{отр}}(k_{s_n}^0) \approx \frac{1}{\alpha_{s_n}} - \frac{C\Delta_{a'}(k_{s_n}^0)}{|\Delta_a(k_{s_n}^0)|^2}, \quad (11)$$

где $\Delta_{a,s} = \text{Im } k_{a,s_n}$ — коэффициент затухания нормальной волны вследствие излучения в жидкость.

Выражения (10), (11) являются аналогами формулы (4) в случае пластины, расположенной в жидкости. Формула (4) может быть использована на практике для определения коэффициента затухания поверхностной волны $\alpha_{\text{н}}$ по измеренной величине бокового смещения пучка $\Delta_{\text{отр}}(k_R)$. Для этой цели полезными могут оказаться методы, основанные на визуализации звуковых полей, например метод Теплера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schoch A. Schallreflexion, Schallbrechung und Schallbeugung. Ergebnisse der exakt.-Naturwissenschaften, 1950, В. 23, S. 127-234.
2. Schoch A. Der Schalldurchgang durch Platten.-Acustica, 1952, В. 2, S. 1-17.
3. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 503.
4. Меркулова В. М. Об особенностях отражения звуковых пучков от границы жидкость — твердая поглощающая среда.-Акуст. ж., 1972, т. 18, № 3, с. 478-480.
5. Plona T. J., Mayer W. G. Phase of ultrasonic reflection at Rayleigh angle incidence.-Appl. Phys. Lett., 1973, v. 23, № 10, p. 536-538.
6. Адлер Л., Бразил М. А., Смит Дж. Х. Перераспределение энергии гауссовского ультразвукового пучка, отраженного от границы раздела жидкость — твердое тело.-Акуст. ж., 1975, т. 21, № 1, с. 1-10.
7. Свиридов Ю. Б. О смещении ультразвукового пучка при его отражении от пластины, находящейся в жидкости.-Акуст. ж., 1975, т. 21, № 4, с. 618-622.
8. Pitts L. E., Mayer W. G. Non-specular reflection from solid plates and half-spaces.-Ultrasonics, 1977, v. 15, № 5, p. 201-204.
9. Меркулов Л. Г. Затухание нормальных волн в пластинах, находящихся в жидкости.-Акуст. ж., 1964, т. 10, № 2, с. 206-212.
10. Свиридов Ю. Б. Исследование полей, излученных в жидкость нормальными волнами твердой пластины при ее возбуждении ультразвуковым пучком в непрерывном режиме.-Дефектоскопия, 1972, № 3, с. 5-18.

Институт математики с
Вычислительным центром
Академии наук Молдавской ССР

Поступила в редакцию
23.IX.1981