

320 с.

5. Номенклатура режущего инструмента и минералокерамики и СТМ на основе нитрида бора, выпускаемого заводами Минстанкопрома. М.:НИИМАШ, 1984,- 44 с.

6. Кочеровский Е.В., Лихидер Г.М. Режущие свойства компози- тов и керамики на операциях чистовой обработки закаленного чугу- на. Сб.трудов "Эффективность и перспективы применения режущего инструмента из сверхтвердых материалов, твердых сплавов и кера- мики", М.:НИИМАШ, 1985, с.66-73.

УДК 548.33:534.22 Добрянский В.М., Рубанов Ан.С., Приходько О.И

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ВИМСХ

В течение последних десятилетий интерес к проблеме разруше- ния материалов непрерывно возрастает. Исследования, связанные с диагностикой несущей способности изделий, проводятся у нас в стра- не [1 - 3] и за рубежом [4]. Это обусловлено в значительной сте- пени практической важностью проблемы и, в частности, ее большой значимостью для создания методов оценки работоспособности мате- риала.

Надежность и долговечность конструкций при циклическом и дли- тельном квазистатическом нагружении существенно определяется про- цессами зарождения и роста трещин в течение всего срока службы. В настоящее время для диагностики наиболее часто применяются мето- ды и аппаратура, основанные на измерении скорости и затухания ульт- развука [5]. Среди них наиболее чувствительными и точными явля- ются методы, основанные на определении скорости распространения и коэффициента поглощения акустических волн в резонаторе интер- ферометра по изменению параметров его амплитудно-частотной и фа- зово-частотной характеристик [6]. Однако область применения акустических интерферометров можно существенно расширить в резуль- тате перехода на прямое измерение фазы и частоты выходного элект-

рического сигнала.

Как показано в работе [7], если на вход акустического интерферометра с двумя линейными преобразователями подается гармоническое напряжение, модулированное по частоте по гармоническому закону,

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_0 \cos \Omega t, \quad (1)$$

где ω_0 , $\Delta\omega_0$, Ω - несущая частота, девиация частоты, частота модуляции соответственно, то напряжение на выходе интерферометра можно описать выражением

$$U^* = U_0' \exp\left[-i\omega_0\left(t - \frac{L}{v_0}\right)\right] \sum_{l=-\infty}^{\infty} \frac{J_l\left(\frac{\Delta\omega_0}{\Omega} \exp\left[i\Omega\left(t - \frac{L}{v_0}\right)\right]\right)}{1 - R \exp\left\{i\left[\frac{2\Omega L}{v_0} - \gamma(\omega_0, v_0)\right]\right\}}, \quad (2)$$

где U_0' - независимая от времени постоянная; L - длина резонатора; v_0 , α - скорость распространения акустических колебаний и коэффициент поглощения в резонаторе интерферометра;

$R = r_1 r_2 \exp(-2\alpha L)$; r_1, r_2 ; δ_1, δ_2 - модули и фазы коэффициентов отражения волн от первого и второго преобразователей соответственно;

$\gamma(\omega, v) = \frac{2\omega L}{v} + \delta_1 + \delta_2$; $J_l(\Delta\omega_0/\Omega)$ - функция Бесселя I-го рода порядка l , $i = \sqrt{-1}$. При выполнении условия

$$\Delta\omega_0 \ll \Omega \ll \omega_0$$

из (2) следует, что

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_0} = \frac{(1-R)^2(1+R)}{(1+R \cos \gamma + R^2) \sqrt{1+2R \cos 2z + R^2}}, \quad (3)$$

где $z = \frac{\Omega L}{v_0}$

Из анализа выражения (3) следует, что при одновременном выполнении условий

$$\frac{\Omega_m L}{v_0} = \left(m \pm \frac{1}{2}\right) \bar{n} \quad m = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

$$\frac{2\omega_p L}{v} + \delta_1 + \delta_2 = (2p - 1) \bar{n} \quad p = 1, 2, \dots, \quad (5)$$

отношение $\Delta\omega/\Delta\omega_0$ будет максимально и равно

$$\left(\frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} \right)_{max} = \frac{1+R}{1-R} \quad (6)$$

Из приведенных соотношений вытекает возможность применения частотно-модулированного сигнала для определения скорости распространения и коэффициента поглощения акустических волн в веществе. Действительно, выбирая частоту модуляции зондирующих колебаний в соответствии с условием (4) (что соответствует максимальному значению отношения (3) на данной несущей частоте ω) по двум значениям несущей частоты ω_p и ω_{p+k} ($k = 1, 2, \dots$), соответствующим максимальному отношению (6), можно определить скорость распространения акустических колебаний в исследуемой среде по формуле

$$V = \frac{2L(\omega_{p+k} - \omega_p)}{k\bar{n}} \quad (7)$$

Возможен и другой вариант. Выбрав значение несущей частоты ω , удовлетворяющее условию (5) (что соответствует максимальному значению отношения (3) при произвольной частоте модуляции), и измерив два значения модуляции Q_m и Q_{m+l} ($l = 1, 2, \dots$), при этом выполняется соотношение (6); для определения скорости V можно использовать следующую формулу, вытекающую из (4)

$$V = \frac{(Q_{m+l} - Q_m)L}{k\bar{n}} \quad (8)$$

Для определения коэффициента поглощения акустических колебаний в среде можно воспользоваться выражением (6), откуда можно найти

$$\alpha = \frac{1}{2L} \ln \left[\frac{\left(\frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} \right)_{max} + 1}{\left(\frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} \right)_{max} - 1} \right] + \frac{1}{2L} \ln r, \bar{n} \quad (9)$$

Основная трудность в применении формулы (9) для определения α заключается в том, что в случае твердотельного резонатора проблематичным является нахождение второго слагаемого в правой части выражения (9), что для жидких и газообразных сред легко преодолевается изменением длины акустической базы L . Однако при исследовании температурных зависимостей акустических параметров твердых тел упомянутая проблема легко устраняется.

В самом деле, при изменении температуры исследуемого образца,

являющегося резонатором интерферометра, может изменяться как скорость распространения и коэффициент поглощения акустических волн, так и его длина L , причем последняя – по линейному закону $L = L_0(1 + \beta T)$, где β – температурный коэффициент линейного расширения. Но если в каждой из выбранных для измерений точек исследуемого температурного интервала подбирать значения несущей частоты ω и частоты модуляции Ω , соответствующими максимуму девиации частоты электрического сигнала на выходе приемного преобразователя, то тем самым будут выполняться соотношения (4) и (5) и, следовательно, справедлива формула, аналогичная (9), независимо от законов изменения α и v от температуры

$$\ln \Psi = 2\alpha L_0(1 + \beta T) - \ln r_1 r_2, \quad (10)$$

$$\text{где } \Psi = \left[\frac{(\Delta\omega/\Delta\omega_0)_{\max} + 1}{(\Delta\omega/\Delta\omega_0)_{\max} - 1} \right]$$

Построив зависимость $\ln \Psi = f(T)$ (рис. 1), после соответствующей статистической обработки можно определить не только зависимость коэффициента поглощения α акустических колебаний как функцию температуры T , но и значение параметра $r_1 r_2$, если только известна длина L исследуемого образца и его температурный коэффициент линейного расширения β . Действительно, какой бы вид не имел экспериментальный график зависимости $\ln \Psi = f(T)$, его всегда можно аппроксимировать ломаной, т.е. всегда можно найти тот температурный интервал (например, $[T_0, T_0 + \Delta T]$), на котором функцию (10) можно считать линейной. На этом интервале, очевидно, коэффициент поглощения α можно полагать не зависящим от температуры (см. (10)), т.к. обычно волновое сопротивление среды ρv (ρ – ее плотность, v – скорость распространения акустических колебаний) не изменяется настолько, чтобы существенным образом повлиять на значения модулей коэффициентов отражения от преобразователей (r_1 и r_2). Тогда тангенс угла наклона $\text{tg } \varphi$ отрезка ломаной, соответствующей исследуемому температурному интервалу, однозначно будет определять величину коэффициента поглощения (см. формулу (10)):

$$\text{tg } \varphi = \frac{\ln \Psi}{2L_0 \beta \alpha} \quad (11)$$

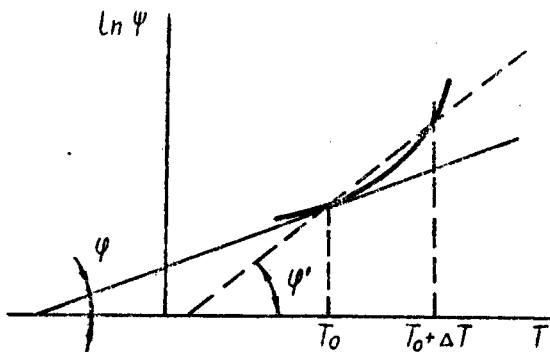


Рис. 1 Графическое представление результатов измерений при температурных измерениях

При устремлении ΔT к нулю $tg \varphi \rightarrow tg \varphi'$, что есть производная функции $\ln \Psi$ по T , т.е. $(\ln \Psi)'_T = tg \varphi$ и вместо (10) имеем право записать

$$(\ln \Psi)'_T = \frac{\ln \Psi}{2L_0 \beta \alpha}, \quad (12)$$

откуда можно определить

$$\alpha = \frac{\ln \Psi}{2L_0 \beta (\ln \Psi)'_T} \quad (13)$$

Таким образом, по определенным из эксперимента зависимостям $\ln \Psi = f(T)$ и $(\ln \Psi)'_T = f_1(T)$ можно по формуле (11) найти значение коэффициента поглощения α акустических колебаний в твердом образце; при этом одновременно по формуле (7) или (8) можно изучить и температурную зависимость скорости $v = v(T)$

Для реализации рассмотренных методов изучения температурных зависимостей акустических параметров твердых тел можно использовать устройство, блок-схема которого описана в работе [8]. Описанные выше интерферометрические методы могут найти применение при исследовании физико-механических свойств различных конструкционных материалов и в научных исследованиях.

Л и т е р а т у р а

1. Ботаки А.А., Ульянов В.Л. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов.-М.:Машиностроение, 1983, 78 с.
2. Ермолов И.И. Теория и практика ультразвукового контроля.- М.:Машиностроение, 1981, 240 с.
3. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия.-М.:Металлургия, 1985, 256 с.
4. Krautkramer J., Krautkramer H. Ultrasonic Testing of Materials. Berlin - Hamburg - New York, 1977.- 667 p.
5. Труэл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы физики твердого тела.- М.:Мир, 1972, 307 с.
6. Илгунас В., Яронис Э., Сукацкас В. Ультразвуковые интерферометры.- Вильнюс: Мокслас, 1983, 144 с.
7. Крылович В.И., Рубанов Ан.С. Фазочастотные интерферометрические измерения скорости распространения акустических волн.-ИФЖ, 1985, т.49, №4, с.654-658.
8. А.с. № 1441294 (СССР). Способ для измерения скорости распространения акустических колебаний и устройство для его осуществления (Авт.изобр. Крылович В.И., Рубанов Ан.С.-БИ,1988,№44).

УДК 621.315:612.5 Добрянский В.М., Занкевич В.А., Лобач Я.Д.,
Лугаков Н.Ф., Колесник А.В., Савицкий П.П.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ $Al_2O_3 - TiN$

БИМСХ

После открытия в 1960 году "черной керамики" на основе Al_2O_3 и TiN большое внимание уделяется созданию новых керамических материалов на их основе [1]. В настоящее время известны десятки марок керамических оксидных режущих инструментов, в том числе