

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ГИГАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА

Кустов А.И., <sup>(1)</sup>Мигель И.А.

Воронежский государственный педагогический университет, Россия

<sup>(1)</sup> ВУНЦ ВВС ВВА им. Профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж), Россия

E-mail: [akvor@yandex.ru](mailto:akvor@yandex.ru)

<sup>(1)</sup> E-mail: [vuaik@mail.ru](mailto:vuaik@mail.ru)

В настоящее время задача надежного прогнозирования поведения материалов, как при стабильных условиях эксплуатации, так и при существенной динамике параметров различных внешних воздействий является одной из актуальных задач материаловедения. Успешное решение этой задачи возможно лишь при комплексном подходе к процессу мониторинга, при опоре на ряд независимых, основанных на различных физических принципах методах. Важное место среди таких методов все увереннее занимают АМД-методы [1-3], использующие для получения физических характеристик материалов акустические волны. При этом ведущую роль играют приповерхностные слои изучаемых материалов.

Целью настоящей работы была разработка способов исследования состояния приповерхностных слоев твердотельных материалов с помощью акустических волн гигагерцевого диапазона. В работе объектами изучения были стали, подвергнутые различным внешним воздействиям, прежде всего деформационным. На первом этапе были проведены модельные эксперименты, позволившие рассчитать значения скорости ПАВ и оценить степень их совпадения со значениями, полученными др. методами [4]. Погрешность составляла не более 1-2%, что подтверждает высокую точность применяемых методов, их достоверность и надежность. Для проведения экспериментальных измерений использовалась акустическая ячейка, схема которой представлена на рис.1.

В ряде наших более ранних работ [5,6] было показано, что параметры распределений параметров, полученных на акустических изображениях, характерные значения  $v_R$  и  $\Delta V/V\%$ , могут являться характеристиками, позволяющими прогнозировать поведение материалов в конденсированном состоянии. Нами был предложен ряд методов непо -

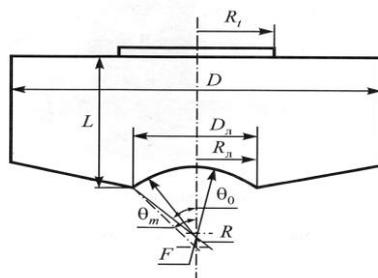


Рисунок 1 - Основные параметры звукопровода САМ с акустической линзой:  $R_t$  – радиус преобразователя;  $D_l$  – диаметр апертуры линзы;  $l$  – длина звукопровода;  $R_l$  – радиус апертуры линзы;  $R$  – радиус кривизны линзы;  $D$  – диаметр звукопровода;  $F$  – фокусное расстояние акустической линзы;  $\theta_0$  – угол раскрытия линзы;  $\theta_m$  – апертурный угол.

средственной оценки деформации металлических образцов [7] по акустическим изображениям. Однако, он достаточно трудоемок и требует высокой квалификации операторов. Поэтому, на наш взгляд, в настоящее время, для целей контроля деформационных воздействий перспективнее метод  $V(Z)$ -кривых [2,3]. С его помощью рассчитывались значения скоростей ПАВ в локальных областях объекта со степенью локальности  $6 - 10 \lambda_R$  (в абсолютном измерении размер области составлял от 25 до 40 мкм).

На рис.2 представлен пример  $V(Z)$ -кривой для стали 06X14H6МД2Т, обеспечивающей расчет значений скорости ПАВ и коэффициента их поглощения.

Точность определения акустических характеристик в этом случае очень высокая и может достигать нескольких десятых долей процента, так как  $V(Z)$ -кривая содержит восемь характерных осцилляций в области кривой, отвечающей за упругие свойства материала объекта.

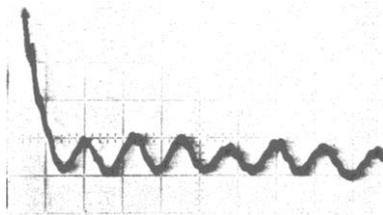


Рисунок 2 - Пример  $V(Z)$ -кривой для стали 06Х14Н6МД2Т, обеспечивающей расчет значений скорости ПАВ и коэффициента их поглощения.

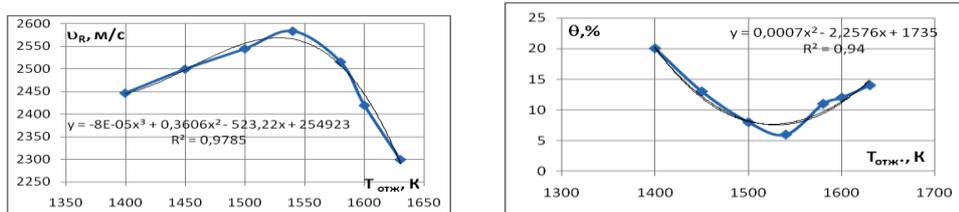


Рисунок 3 - Зависимость  $v_R$  от  $T_{отж}$  ЦТС-22, и кривая изменения пористости в зависимости от температур, полученная методом  $V(Z)$ -кривых.

Особого внимания требует изучение поведения некристаллических материалов. С одной стороны они имеют изотропное строение, а значит и уровень свойств в них постоянен. Однако, распределение в них микро- и нанопор является одним из определяющих параметров, влияющим на механические и электрические свойства. На рис. 3 представлены зависимости параметров керамических образцов от значений температур отжига.

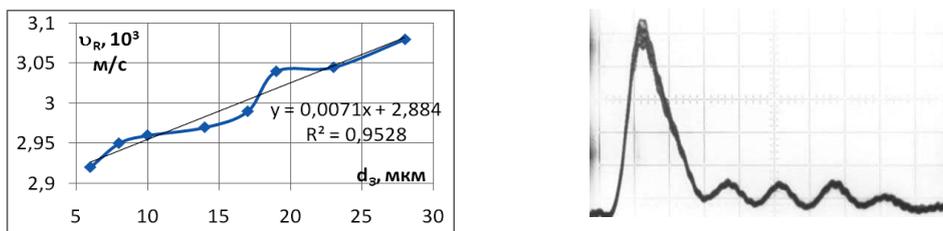


Рисунок 4 - Зависимость скорости ПАВ в образце стали (38ХМЮА) от размера зерна ( $v_R$  определена по методу  $V(Z)$ -кривых, а  $d_3$  из акустических изображений) и пример фиксации  $V(Z)$ -кривой для стали, трансформация которой обеспечивает прогнозирование поведения материала ( $H_2O$ , по вертикали: 1 В/дел., 5% деформация; масштаб по горизонтали: 12,5 мкм/дел.,  $\Delta Z_N = 14,95$  мкм,  $v_R = 3,11 \cdot 10^3$  м/с)

Следующий этап был связан с оценкой чувствительности АД-методов к деформации материалов, прежде всего металлических. Области наибольшего воздействия, после различных типов деформации, изучались в режиме  $V(Z)$ -кривых и акустической визуализации. В результате экспериментов наблюдались псевдопериодические изменения  $\Delta V/V$  и  $v_R$  вдоль оси деформации, и относительно слабые в перпендикулярном оси деформации направлении. По изменению высоты главного максимума  $V(Z)$ -кривой в режиме измерения коэффициента поглощения АВ были выявлены области с микротрещинами, направленные диагонально относительно оси деформации.

Следующий этап был посвящен экспериментам на реальных объектах - сталях (60Г, 33ХНЗМА, 20ХГСА и др.). Они деформировались до определенной степени (до 20-25%) с контролем размера зерна в режиме акустической визуализации, с

последующим измерением значений скорости ПАВ. Пример  $V(Z)$  – кривой для одного из сортов стали представлен на рис.4. Полученные зависимости позволяют утверждать, что между размером зерна ( $d_3$ ) и величиной  $\sigma_{0,2}$  имеется корреляционная связь, которая и была обнаружена в результате дополнительных экспериментов. Для ряда образцов испытываемых сталей в зависимости от размера  $d_3$  были определены значения  $\sigma_{0,2}$ , которые фактически подтвердили зависимость Холла-Петча. Поэтому, в данном случае, скорость ПАВ является одним из параметров, позволяющих прогнозировать поведения материалов в конденсированном состоянии, так как измеряя величину  $v_R$  можно определить значение  $\sigma_{0,2}$  материала объекта.

Таким образом, проведенное нами статистически значимое количество экспериментов доказывает, что методы АМД позволяют оценивать степень деформации металлических материалов по величине параметров АВ, обеспечивают выявление признаков ПС и прогнозирование поведения материалов в конденсированном состоянии. Они эффективны при исследовании состояния приповерхностных слоев твердотельных материалов.

### Список литературы

1. Мигель И.А., Кустов А.И. Анализ трансформации структуры приповерхностных слоев сталей и их влияние на процесс упрочнения АМД-методами // Вестник ПНИПУ., Машиностроение, Материаловедение., Т.18., №4, 2016., 205 с (с. 134-146).
2. Мигель И.А., Кустов А.И. Оценка степени деформации материалов и определение параметров их разрушения АМД-методами // Вестник Тамбовского университета. – 2016. – Том 21, вып. 3. – С.1102-1106.
3. Кустов А.И., Мигель И.А. Оценка параметров анизотропии свойств металлических материалов с использованием АМД-методов // ФПСМ., Т.14., №1., 2017., с.44 - 51.
4. Физические величины: справочник / А.П.Бабичев, Н.А. Бабушкина, и др.; п/р И.С.Григорьева и Е.З. Мейлихова. – М.; Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
5. Мигель И.А., Кустов А.И. Прогнозирование поведения материалов в конденсированном состоянии с помощью акустических волн. // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – Тамбов, 2018. – Т.23, №122. – 348с. - с.148-151.
6. Мигель И.А., Кустов А.И. Зеленев В.М. Расчет количественных параметров предельных состояний металлических материалов АМД-методами // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – Тамбов, 2018. – Т.23, №123. – 227с. - с.436-440.
7. Мигель И.А., Кустов А.И. Оценка влияния деформации материалов на их структуру и определение параметров их сопротивления разрушению АМД-методами // Фундаментальные проблемы современного материаловедения., 2018. №4 (15)., с.476-481.