

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АКУСТОМИКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Зеленев В. М.<sup>1</sup>, Кустов А. И.<sup>1</sup>, Мигель И. А.

<sup>1</sup>) Воронежский государственный педагогический университет, Россия  
Военный авиационный инженерный университет, г.Воронеж, Россия  
[akvor@yandex.ru](mailto:akvor@yandex.ru)

Одна из актуальных задач современного материаловедения – анализ влияния внешних воздействий на структуру и свойства металлических материалов. Существенно повысить эффективность и надёжность решения этой задачи позволяют методы акустомикроскопической дефектоскопии [1,2]. Базовые методы внешних воздействий – деформационные, диффузионные, термические и др.

Целью настоящей работы являлось наблюдение и анализ структуры металлических материалов, а также определение значений их физико-механических параметров методами акустомикроскопической дефектоскопии (АМД) после таких воздействий как наклёп, диффузия (при нитроцементации, азотировании) и закалка.

В наших более ранних работах [3,4] было показано, что степень деформации сталей различного назначения может быть рассчитана с помощью метода акустической визуализации, а также с использованием характерных  $V(Z)$ -кривых. Полученная в рамках последнего метода зависимость представлена на рис.1. Она показывает, что без разрушения образца по измеренной акустически  $v_R$  надёжно определяется степень деформации  $\varepsilon\%$  материала.

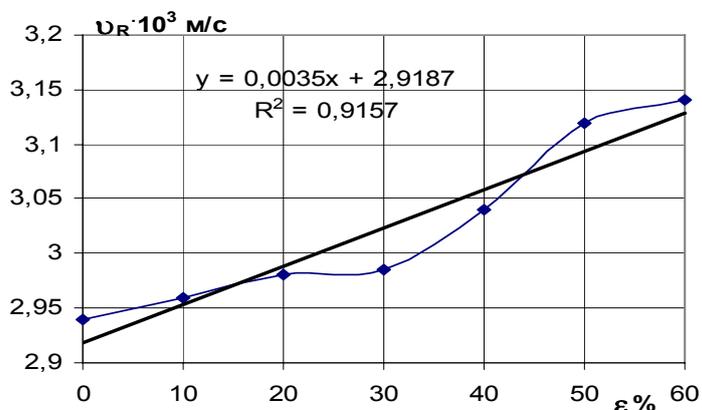


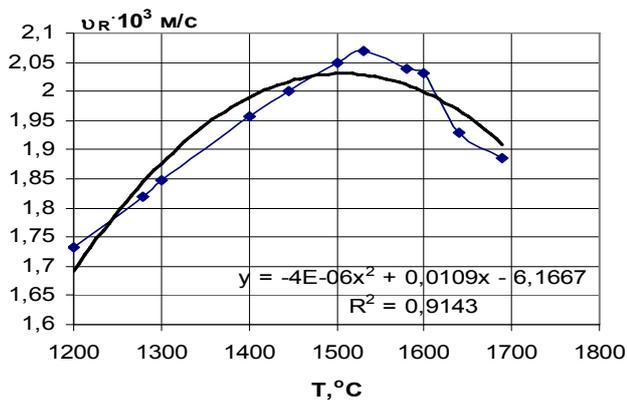
Рис. 1. Зависимость скорости ПАВ в стали от степени её деформации

Excel.

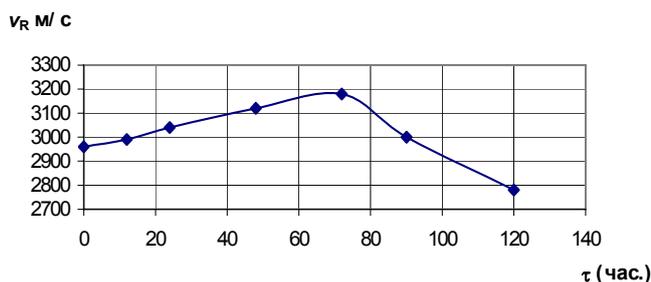
Зависимости ряда характеристик акустических волн, а значит и материалов, в которых они распространяются, от времени выдержки ( $\tau$ ) в газовой среде представлены на рис.3 и 4. Причём, для зависимости уровня затухания АВ от  $\tau$  применена информационная технология оптимизации.

На рис.5 представлена зависимость  $\Delta V/V\%$  от  $\tau$  вместе с соответствующим трендом, уравнением и коэффициентом аппроксимации. Разместив в текущей ячейке значение  $\tau$ , а в целевой – уравнение тренда и применив встроенную функцию “Поиск решения” получим значение времени, при котором искомая величина ( $\Delta V/V\%$ ) является экстремальной.

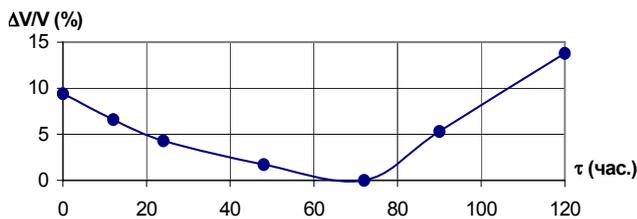
Данный метод ценен вдвойне, так как позволяет производить мониторинг свойств в зависимости от времени или уровня внешних воздействий. Пример выявления влияния температур отжига на свойства керамического материала (ЦТС-19) представлен на рис.2. Для полученной зависимости восстановлен тренд (с достаточно высоким коэффициентом аппроксимации 0,914), уравнение которого позволяет использовать для поиска экстремальных значений  $T^o$  стандартные оптимизационные функции MS



**Рис. 2.** Зависимость скорости ПАВ от температур отжига для керамики ЦТС-19



**Рис. 3.** Зависимость скорости  $v_R$  в стали 40 ХН в зависимости от времени выдержки ( $\tau$ ) в водороде.



**Рис. 4.** Изменение величины затухания ПАВ в стали 40ХН от времени ( $\tau$ ) выдержки в водороде.

Именно этот метод позволяет находить экстремумы наблюдаемых величин, а значит оценивать по их ансамблю предельность состояния материала или конструкции.

В практических расчетах процессов химико-термической обработки (ХТО) необходимо знать значения параметров, входящих в уравнения, описывающие её отдельные стадии. К таким параметрам относятся коэффициенты диффузии и массопереноса, активность диффундирующего элемента в диффузионной зоне, потенциал и активность насыщающей среды. Коэффициент диффузии – это основной параметр, характеризующий кинетику диффузионного насыщения. Обычно коэффициент диффузии определяют по экспериментальному распределению концентрации элемента по толщине слоя  $c(x, \tau)$ , либо анализируя количество диффундирующего вещества в образцы в зависимости от времени. Коэффициент диффузии для практических расчетов можно определить для стационарных условий химико-термической обработки по толщине диффузионного слоя. Если принять, что толщине диффузионного слоя соответствует вполне определенная концентрация диффундирующего элемента  $c_T$ , то:

$$c_T(x, \tau) / c_{ПОВ} = 1 - \operatorname{erf}(x_T / (2 \cdot \sqrt{D \cdot \tau})) = \text{const}.$$

Следовательно, выражение под знаком функции erf является постоянной, а значит,

$$x_T^2 = Dk\tau \quad \text{и} \quad D = x_T^2 / k \cdot \tau.$$

Это выражение является оценочным, поскольку не всегда можно металлографическим анализом точно определить величину слоя и пренебречь временем насыщения поверхности стали до стационарной концентрации  $c_{ПОВ}$ .

В качестве параметров диффузионного процесса нами были выбраны значения скорости ПАВ ( $v_R$ ), уровень затухания этих волн ( $\Delta V/V\%$ ). По их значениям получали зависимости толщины слоя с измененными свойствами от концентрации вещества-диффузанта, от температуры и времени проведения процесса. В более ранних работах нами неоднократно приводились характерные для металлических материалов  $V(Z)$ -кривые, поэтому обратим внимание лишь на результаты использования таких зависимостей.

В ходе экспериментов была получена серия значений  $v_R$  на различном расстоянии ( $h$ ) от поверхности образцов стали 18ХГТ, подвергнутых процессу цементации. Каждая из точек получена усреднением значений 7–11 измерений. Аппроксимация полученной кривой осуществляется логарифмической зависимостью с коэффициентом  $\sim 0,9108$ . Со

значения 600–620 мкм  $v_R$  достигает своего максимального значения, характерного для сердцевины объекта исследования. Если считать глубиной слоя диффузии (в зависимости от выбранных критериев 0,5 или 0,8 от значений  $v_R$  в материале без диффузии) соответствующее расстояние  $h_0$ , то расчет его значения с помощью САМ эффективен, надежен и учитывает локальные изменения физических параметров. Толщина диффузионного слоя параллельно оценивалась по другому акустомикроскопическому параметру –  $\Delta V/V\%$ . Полученные данные подтверждены кривыми, демонстрирующими уменьшение затухания АВ с глубиной диффузионного слоя.

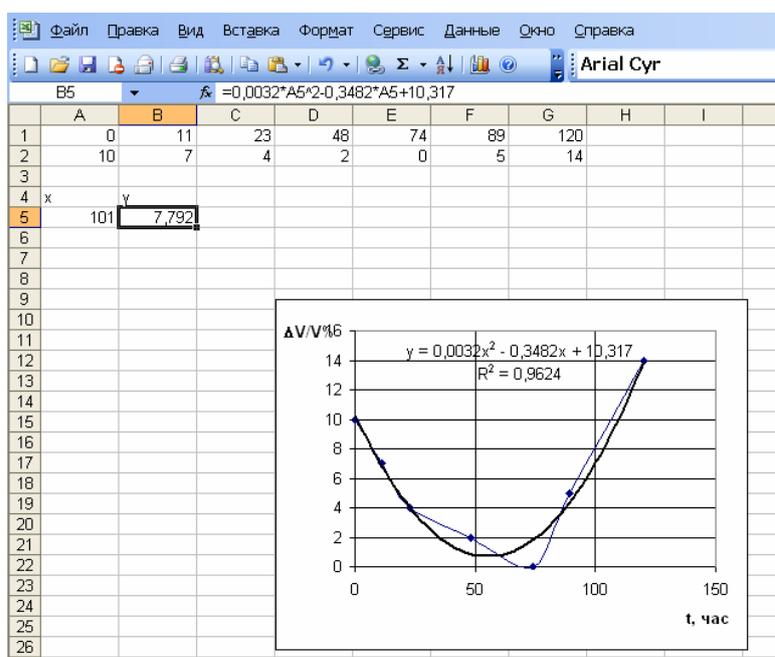


Рис. 5. Получение уравнения тренда для анализа экспериментальной зависимости

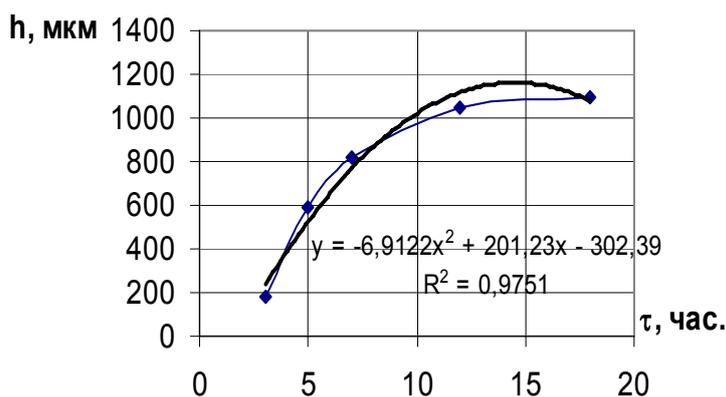


Рис. 6. Экспериментальная зависимость глубины диффузионного слоя от времени выдержки образцов.

### Список литературы

1. Wilson R. G., Weglein R. D. // Appl. Phys. 1994. V. 55. N 9. P. 3261—3275.
2. Кустов А.И. // "Физика и химия стекла", 1998 - т.24 - №6 - с.817-824.
3. Kustov A.I., Migel I.A.// Materials of the V International scientific conference "Strength and fracture of materials and constructions", Orenburg, 2008, vol.1, p.p.200-206.
4. Кустов А.И., Мигель И.А.. // Материаловедение, №2 (155), 2010, с.9 – 14.