

Таким образом, АМД-методы позволяют:

- неразрушающим способом оценивать однородность подложек из диэлектрических и полупроводниковых материалов;
- определять толщину покрытий, как диэлектрических, так и металлических;
- оценивать адгезионные параметры покрытий, как качественно, так и количественно;
- рассчитывать глубину слоев, с измененными свойствами, благодаря внешним воздействиям (механическим, термическим, диффузионным).

#### Список литературы

1. Кулаков М.А., Морозов А.И. // Акуст. Журнал. Т. XXXI. вып.6. 1985.С.817-820.
2. Wilson R. G., Weglein R. D. // Appl. Phys. 1994. V. 55. N 9. P. 3261—3275.
3. Кустов А.И., Мигель И.А. // Металлофизика и новейшие технологии, междунар. науч.-техн. журн., Киев, 2009, Т.31, №3, с.381-388.
4. Кустов А.И., Мигель И.А. // Материаловедение, №2 (155), 2010, с.9 – 14.
5. Кустов А.И., Мигель И.А. // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. - Тамбов, 2013. – Т. 18.—Вып.4.Часть 2. – 612 с. (с.1875-1877).

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ И ЕЁ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Кустов А.И.<sup>1</sup>, Мигель И.А

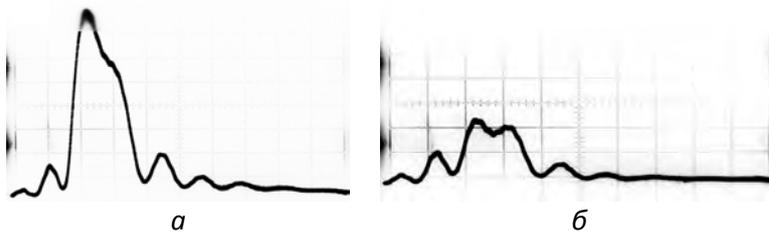
<sup>1</sup> Воронежский государственный педагогический университет, Россия  
ВУНЦ ВВС ВВА им. профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж, Россия  
[akvor@yandex.ru](mailto:akvor@yandex.ru)

Определение значений параметров структуры и анализ картины структурных составляющих— основа определения характеристик материалов в конденсированном состоянии. Расширение возможностей анализа взаимосвязи свойств и структуры материалов, достоверность получаемых данных связаны с набором применяемых методов (в том числе и АМД-методов [1,2], всё более широко используемых последние два десятка лет). Они позволяют исследовать состояние структуры, выявлять и характеризовать её особенности. К таким особенностям, прежде всего, относятся локальные флуктуации плотности, изменения прочностных, акустических и иных характеристик.

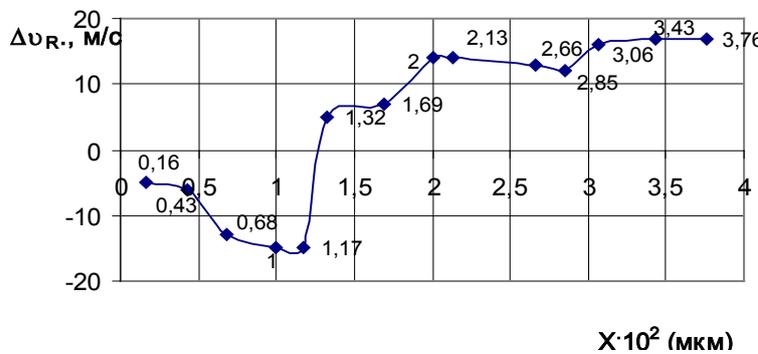
Известно, что практически любой материал является сложной системой с характерной структурой. Так как проблема характеризации свойств материалов всегда является *актуальной*, из неё вытекает не менее значимая проблема - анализа отдельных структурных составляющих и оценка степени их влияния на конкретные характеристики и состояние материала в целом. При этом особый интерес вызывает разработка методов, позволяющих выявлять предельные состояния материалов, или близкие к ним.

Целью проведенной нами работы являлось наблюдение и анализ структуры материалов, а также определение значений их физико-механических параметров в зависимости от характера систем неоднородностей. Для достижения поставленной цели и применялись АМД-методы. В частности, они позволяют рассчитывать значения скорости поверхностных акустических волн (*ПАВ*) в твердотельных материалах. Этот физический параметр тесно связан с величинами, характеризующими внешние воздействия на материал, а также с такими важными характеристиками объектов исследования как упругие модули, коэффициент поглощения акустических волн, степень анизотропности структуры и проч. [3]. На рис.1 представлены изображения  $V(Z)$ -кривых, которые демонстрируют изменение высоты главного максимума на ~60% в области микронеоднородности, что подтвер-

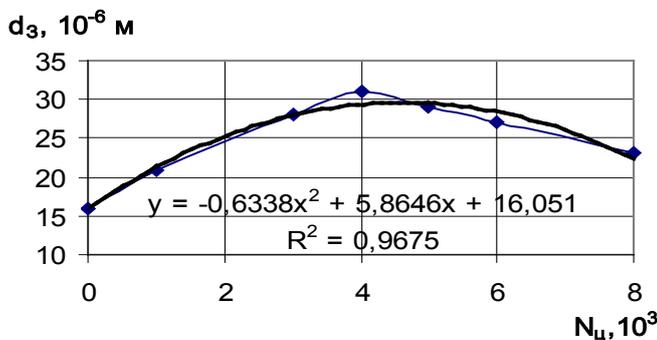
ждает способность разработанной методики выявлять (с помощью сканирующего акустического микроскопа (САМ)) микронеоднородности с поперечным размером менее разрешающей способности прибора. В настоящей работе этот параметр составлял 0,3 мкм.



**Рис. 1.** Изменение высоты главного максимума  $V(Z)$ -кривой в районе микронеоднородности в  $(\text{Ge } \langle 111 \rangle)$ ,  $v_R = 2,87 \cdot 10^3$  м/с,  $\Delta Z_N = 13,25$  мкм,  $(\Delta V/V\%)_{\max} = 68\%$ , масштаб по вертикали 1 дел.= 0,25 В, по горизонтали – 1 дел.=11 мкм; расстояние от центра микронеоднородности а) 40 мкм, б) 0 мкм).



**Рис.2.** Дисперсия  $v_R$  в стали 18ХГТ с  $(d_3)^{-1/2} \sim 7$



**Рис.3.** Поиск максимального размера зерна стали 16ГС в зависимости от числа ( $N_n$ ) циклов нагрузки с использованием MS Excel.

величин позволяют находить экстремальные значения параметров воздействия на образец.

Предвестником перехода к предельному состоянию (ПС) является появление критических значений выбранных критериев в локальных областях. В конечном итоге, определяющую роль в разрушении материала в целом играет процесс локального разрушения (ЛР). Изучение условий начала ЛР, зарождение микротрещины и ее развитие, расчёт объёмной плотности и т.п., представляет в настоящее время первоочередной интерес. Критериями прочности при статических нагрузках являются временное сопротивление  $\sigma_B$  или предел текучести  $\sigma_{0,2}$  ( $\sigma_T$ ), характеризующие сопротивление материала пластической деформации. Методика расчёта этого параметра с помощью методов АМД рассмотрена нами в работе [4]. Иногда для грубой оценки статической прочности используют твер-

Известно, что прежде чем образуются микронеоднородности, изменяющие состояние материала и продвигающие его к предельному, возникает предстоящее состояние, которое ещё обратимо. Его выявление проводилось по величине дисперсии значений  $v_R$  и изменению значений  $\Delta V/V\%$  акустических волн. Пример дисперсии скорости ПАВ в одном из сортов стали приведён на рис.2. Повышение величины дисперсии приближает материал к предельному состоянию.

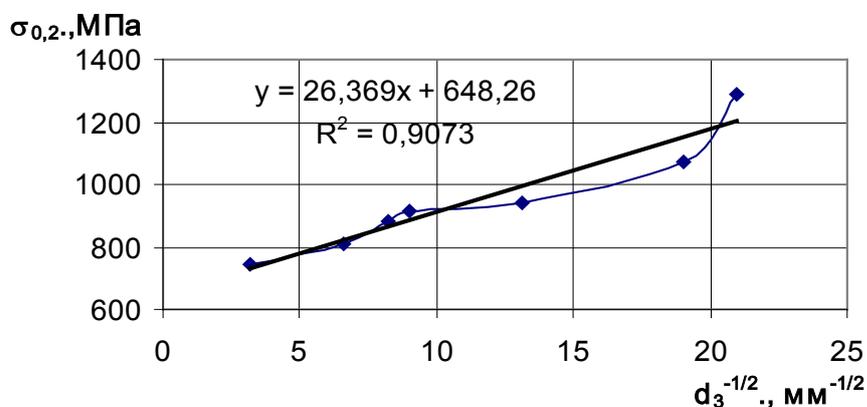
Важным параметром ПС являются экстремальные значения ряда характеристик. Для их нахождения также использовались возможности ИТ, в частности, встроенные функции Приложения MS Excel. Пример анализа влияния числа циклов нагрузки на величину размера зерна приведён на рис.3. Полученная зависимость демонстрирует, что изменение размера зерна может достигать 45-65% при интервале числа циклов воздействия в  $\sim 4 - 5$  тысяч.

Оценив по акустическому изображению размер зерна, можно определить критическое значение предела текучести  $\sigma_{0,2}$ . Полученные тренды экспериментальных зависимостей

дость  $HB$  (для сталей эмпирически получено соотношение  $\sigma_B = HB/3$ ). Однако, эта оценка часто является достаточно вариативной. Величина критериев прочности позволяет рассчитывать допустимые напряжения в материале.

В настоящее время актуален поиск и развитие новых методик, позволяющих не только фиксировать микродефекты, но и контролировать их критическую концентрацию. Эксперименты по расчёту  $d_3$  с использованием подповерхностных акустических изображений показали, что для исследуемых сталей (08X18H10T, ст.70, 15X2НМФА, 06X14Н8МД2Т и др.) такой параметр прочности как  $\sigma_{0,2}$  подчиняется закону Холла-Петча:  $\sigma_{0,2} = \sigma_0 + k d_3^{-1/2}$ , где  $\sigma_0$  и  $k$  - константы данного материала.

С помощью одного из АМД – методов, основанного на анализа  $V(Z)$ -кривых, измеряли величину  $\nu_R$ , рассчитывали модули  $E$  и  $G$ . Оценка значений предела прочности проводилась в соответствии с известным выражением  $\sigma_{0,2} \cong \frac{G}{10^2 \cdot n \cdot \pi}$ . Сравнение полученных зависимостей позволило сделать вывод о том, что измеряя  $\nu_R$  (или  $d_3$ ) можно просто и надёжно оценивать значения  $\sigma_{0,2}$  (рис.4).



**Рис.4.** Зависимость предела текучести стали 18ХГТ от размера зерна

И, наконец, в качестве одного из критериев ПС можно использовать количество  $N$  микродефектов в объеме образца.

Таким образом, разработанные методики обеспечивают получение таких параметров образцов как  $\Delta \nu_R$ ,  $\nu_R$ ,  $\Delta V/V\%$ ,  $E$ ,  $G$ ,  $N$  и др. Результаты исследований подтверждают, что методы АМД позволяют существенно расширить возможности характеристики ПС, в том числе и по неоднородностям. Разработаны АМД-методы для определения размера зерна  $d_3$ ; для ряда сталей проведён расчёт этого параметра через  $\nu_R$  и из акустомикроскопических изображений.

#### Список литературы

1. Кустов А.И., Мигель И.А. // “Материаловедение”, 2010 – 2 (155) – с.9-14.
2. Kustov A.I //Proceedings of VIII Inter. Conf. “Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials”, Science Series, II. Physics and Chemistry, ed. Dm.Schur, vol. 72. 2004. p.203-215.
3. Кустов А.И., Мигель И.А. // “Материаловедение”, №8, 2011 г - с. 15 – 19.
4. Кустов А.И., Мигель И.А. Выработка критериев оценки деформации поверхности твердотельных материалов АМД-методами // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. - Тамбов, 2013. – Т. 18.—Вып.4.Часть 2. – 612 с. (с.1875-1877).