

# РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АНАЛИЗА КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СКАНИРУЮЩЕГО АКУСТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

Кустов А.И.

Воронежский государственный педагогический университет, Россия

[akvor@yandex.ru](mailto:akvor@yandex.ru)

Актуальность проблемы исследования структуры материалов не вызывает сомнений, так как именно её параметрами определяется набор физических свойств материалов. Особо остра эта проблема при наличии повреждений, в том числе и коррозионного типа. Решение поставленной проблемы осуществлялось с помощью инновационных методов исследования структуры и свойств материалов - АМД-методов [1,2], которые позволяют проводить мониторинг состояния материалов, как на основе акустических изображений, так и с использованием характерных зависимостей выходного акустического сигнала -  $V(Z)$ -кривых [3].

Режим визуализации с относительным сканированием поверхности образца и акустической линзы позволил получить акустическое изображение структуры объекта. При этом, изменяя расстояние ( $Z$ ) линза-поверхность объекта формировали изображения *на различной глубине*. Снимки позволили надежно визуализировать отдельные питтинги, определять их размеры, оценивать форму.

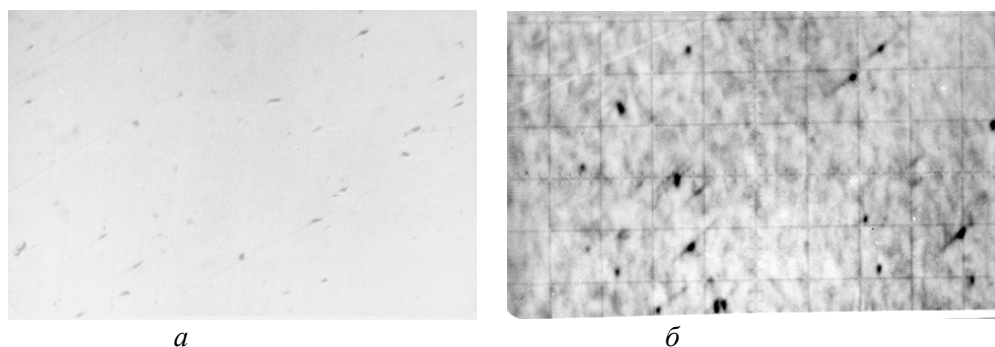
Метод  $V(Z)$ -кривых позволил рассчитать значения скоростей акустических волн (например, поверхностных  $v_R$ ) с точностью до 0,2%. Деформация металла, возникновение упругих неоднородностей или микротрещин, всё это проявляется в трансформации характерной зависимости выходного сигнала преобразователя  $V$  от расстояния  $Z$  до линзы. Сканируя поверхность образца при ее перемещении в  $x$ - $y$ -плоскости в режиме  $V(Z)$ -кривых, получали профили зависимостей выходного сигнала преобразователя от координат, то есть определяли значения в конкретных, пространственно-ограниченных областях.

Для оценки работоспособности объекта необходимо установить *момент появления и механизм развития повреждений*, в результате которых он выходит из строя. Этот подход и использовался при формировании микроскопических критериев локального предельного состояния (ПС) материала. Как правило, причиной выхода объекта из строя является развитие повреждения, например, трещины, до опасных размеров. Макроскопические критерии предельности не могут “обнаружить” дефект, находящийся в материале. Визуализация дефектов поврежденности типовыми средствами (например, металлография) требует достаточно развитой поврежденности. То есть, методы неразрушающего контроля неспособны реагировать на микроскопические трещины, возникающие на ранних стадиях разрушения, они не позволяют получать информацию о кинетике развития микронесплошностей в поврежденных материалах. Отсюда возникает необходимость поиска и развития новых методик, позволяющих не только фиксировать подобные микродефекты, но и контролировать их критическую концентрацию и размеры.

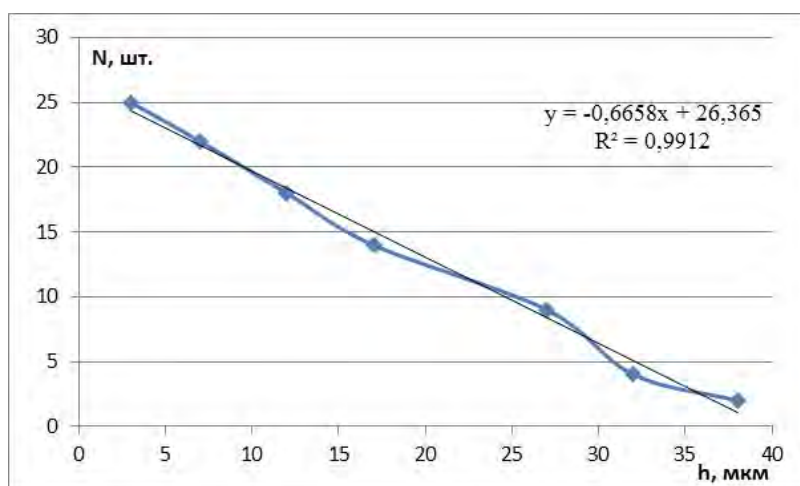
*Целью* настоящей работы была разработка инновационных АМД-методов исследования структуры материалов и анализа с их помощью коррозионных повреждений.

Для исследования были выбраны образцы сталей, подвергнутых питтинговой коррозии. Вне зависимости от вида коррозии и марки стали наиболее важными параметрами изменения состояния материала является наличие микродефектов, их количество, размеры, скорости роста, а также взаимосвязь этих параметров с прочностными характеристиками. При электрохимической коррозии материал анода разрушается, причём следует помнить, что микрогальванические элементы возникают и между различными фазами сплавов, и в чистых металлах (роль катод - тело зерна, а анода - его граница).

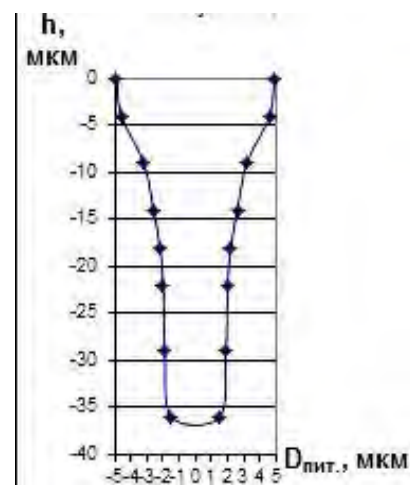
Чаще всего сплав не является однородным материалом, поэтому коррозия в нем носит локальный характер.



**Рис. 1.** Оптическое (а)  $210\times$  и акустическое (б) изображения приповерхностного слоя стали (08X21H6M2T), подвергнутой коррозионным испытаниям (питтинг, масштаб 35 мкм/дел.,  $f = 402$  МГц, б)  $Z = 2$  мкм



**Рис.2.** Зависимость количества выявленных питтингов от глубины визуализации



**Рис.3.** Профиль питтинга (по вертикали – глубина визуализации  $h$ ).

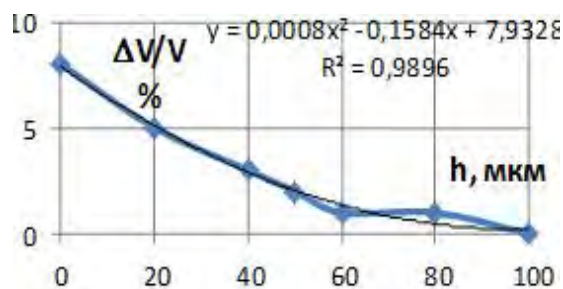
Наиболее опасной является питтинговая коррозия, так как её очаги являются концентраторами напряжений. Она без заметных внешних изменений материала распространяется по границам зерен вглубь. При этом все механические свойства резко снижаются.

Одной из разновидностей коррозионностойких сталей являются стали аустенитно-ферритного класса, содержащие 18 – 22% Cr, 2 – 7 % Ni, а также Mo и Ti. Они обладают более высокой прочностью по сравнению аустенитными, у них лучше сопротивляемость интеркристаллитной коррозии. Однако, и для них существует проблема выявления локальных зон поражения, определения таких параметров дефектов, как диаметра и глубины проникновения. Чаще всего на поверхности материала питтинг не проявляется, а при изготовлении шлифов для исследований поверхностный слой часто “заполировывается”.

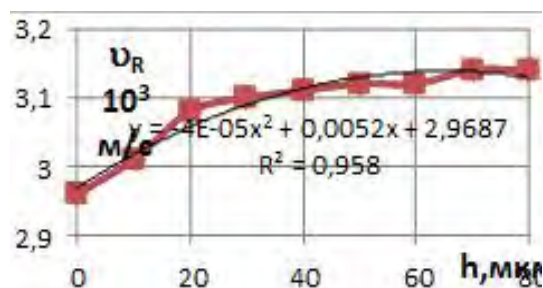
Эксперименты по оценке возможности выявления и характеристики микродефектов типа питтингов АМД-методами проводились на образцах сталей 08X21H6M2T и 06X14H6MD2T. На рис. 1 представлены сравнительные оптическое и акустическое изображения поверхности стали 08X21H6M2T после испытаний. Очаги микродефектов на оптическом снимке практически неразличимы.

Существенный выигрыш при визуализации таких повреждений предоставляет АМД-метод. Изменяя расстояние  $Z$  и используя зависимости коэффициентов трансформации на

поверхности объекта (сталь-вода, сталь – ртуть, сталь – ацетон) с достаточно высокой точностью определяли глубину визуализации ( $h$ ). Измеряя на акустическом изображении диаметр питтинга на различных глубинах получали зависимости его размерного параметра от расстояния до поверхности. С учетом масштаба акустического изображения 35 мкм/дел., размеры питтингов для образцов данной партии лежали в пределах 3 –12 мкм. С увеличением глубины визуализации количество выявляемых питтингов сокращалось, а их диаметры уменьшались. При этом все отчетливее проявлялось структурное строение образцов. По сериям акустических изображений, аналогичных представленным на рис. 1 получали зависимости количества ( $N$ ) выявляемых питтингов от глубины визуализации (рис.2). Такие зависимости позволяют оценивать неразрушающим способом как максимальную глубину микродефектов (рис.3), так и скорости их зарождения.



**Рис.4.** Изменение уровня затухания АВ в образце с глубиной зондирования



**Рис.5.** Изменение скорости ПАВ в образце с изменением толщины сполированного слоя.

Рисунок показывает, что, начиная с глубин ~10 мкм (~20% от глубины максимального проникновения) стенки микродефекта близки к вертикальным. При сканировании поверхности образца в режиме  $V(Z)$  вдоль оси  $X$  с шагом 10-20 мкм можно получить набор топографических кривых, представляющих информацию о координатах и размерах питтингов.

Для определения интегральной характеристики, позволяющей оценивать изменение параметров поверхности образца в целом более продуктивно использовать  $V(Z)$ -метод. Эта характеристика - относительная высота ( $\Delta V/V\%$ ) главного максимума  $V(Z)$  – кривых. С ростом глубины питтингов и при увеличении их количества в приповерхностном слое стали повышается коэффициент затухания акустических волн, а значит и её значение (рис.4). Чувствительна к глубине и размерам питтингов и скорость акустических волн (рис.5). Следовательно, приняв за точку отсчета значение для бездефектного образца, можно по полученной зависимости оценивать степень поражения образца коррозией.

Таким образом, АМД-методы позволяют при изучении питтинговой коррозии без дополнительной обработки поверхности визуализировать подповерхностные микронеоднородности, определять их геометрические параметры, наблюдать трансформацию плотности и акустомеханических параметров.

### Список литературы

1. Кустов А.И. // "Физика и химия стекла", 1998 - т.24 - №6 - с.817-824.
2. Кустов А.И., Мигель И.А. // "Материаловедение", 2010 – 2 (155) – с.9-14.
3. 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).