

ВЫРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОРОД-СОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ АКУСТОМИКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Кустов А.И. *, Мигель И.А.

* Voronezh State Pedagogical University, 86, Lenin st., Voronezh, Russia 394043
Voronezh Military Air Engineering Institute, 27 Starikh Bolshevikov st., Russia 394064

Введение

Высокую актуальность в последние годы приобрела задача выявления предельных состояний твердотельных материалов, в том числе и водородсодержащих. Предельным называют состояние материала, при котором он близок к потере устойчивости. В зависимости от условий эксплуатации (температурно-силового режима, напряженного состояния и т.п.) используют различные критерии предельности. Зачастую ими являются те или иные характеристики физико-механических свойств. Следовательно, предельным будет состояние, после перехода в которое материал при активизации какого-либо структурного параметра необратимо изменяет свои свойства. Обнаруживать такие состояния необходимо на возможно более ранних стадиях. Прежде всего, в качестве критериев предельности могут быть использованы локальные изменения структуры, внутренних напряжений, физико-механических параметров (например, скорости акустических волн (АВ)).

Работа посвящена изучению процессов изменения упруго-механических характеристик материалов, накоплению повреждаемости, выработке для них критериев предельного состояния.

Результаты и обсуждение

Выявление предельного состояния на ранних стадиях может быть осуществлено методами, чувствительными к микронеоднородностям. По их количеству, форме, распределению в объеме можно оценивать критерии предельности. К таким методам можно отнести активно развивающиеся в последние 15 – 20 лет методы акустомикроскопической дефектоскопии [1,2]. Они позволяют получать как поверхностные акустические изображения микроструктуры объектов, так и определять их физико-механические характеристики. Поэтому, для неразрушающего контроля водородсодержащих материалов было предложено использовать сканирующий акустический микроскоп (САМ) отражательного типа [3]. На рис. 1 демонстрируется акустическое изображение приповерхностных слоев образца стали (08Х21Н6М2Т), подвергнутого коррозионным испытаниям. Питтинги с характерными размерами 3 – 15 мкм хорошо визуализируются. При

этом о предельности состояния можно судить по глубине проявления дефектов, их размерам и числу в растре. На оптических снимках, а также при использовании других методов исследований обнаружить такие неоднородности не удалось.

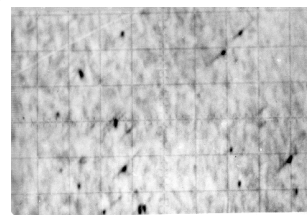


Рис.1. (масштаб 35 мкм/дел., Hg, Z=-7 мкм).

Другой пример выработки критерия предельного состояния связан с возникновением в водородсодержащих металлах трещин флокенного



Рис.2. (масштаб 20 мкм/дел., Hg, Z=-40 мкм).

типа. По их размерам, динамике развития, скорости роста оценивается надежность материала. На рис.2 демонстрируется акустомикроскопическое изображение микротрещины в стали аустенитного класса.

Для изучения предельного состояния материалов в конденсированном состоянии можно применять также и акустомикроскопические методы, основанные на использовании V(Z)-кривых [4,5]. При этом рассчитывают значения скоростей (v_R) ПАВ и определяют величину изменения коэффициентов затухания АВ в материале по относительному изменению $\Delta V/V$ высоты главного максимума V(Z) – кривых. При диффузии в материал водорода его упруго-механические характеристики меняются, что проявляется в изменении v_R и уровня $\Delta V/V$.

Методика контроля предельного состояния с помощью V(Z)-кривых заключается в анализе трансформации их формы. Из характерных зависимостей рассчитывались значения

скоростей поверхностных акустических волн (ПАВ) и изменение уровня их затухания. По величине локальных флуктуаций физико-механических параметров и делалось заключение о предельности состояния материала. Пример распределения микрон неоднородностей в исследуемом объекте, полученного с использованием V(Z)-кривых, приведен на рис. 3. В качестве модели в этом случае использовалось стекло с введенными в него микродефектами. Их количество и размеры и являются одними из критериев предельного состояния.

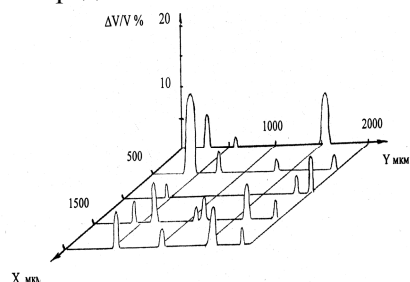


Рис. 3. Пример выявления координат и величины микродефектов в стекле в растре 2х2 мм².

По изменению значений скорости ПАВ и относительной высоты $\Delta V/V$ максимума V(Z) – кривой можно оценивать величину и других характеристик образцов, например концентрацию водорода. При этом получают как зависимости между концентрацией водорода и числом зарождающихся микротрещин, так и зависимости значений скорости ПАВ от глубины проникновения водорода в образец, времени диффузии и проч. Из полученной зависимости для стали (см. рис.4) можно оценивать по величине скорости ПАВ предельные концентрации водорода в этом материале.

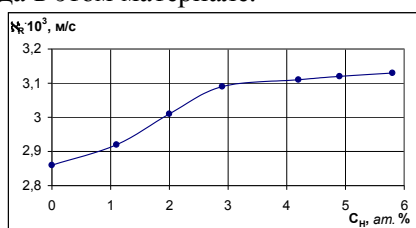


Рис. 4. Зависимость скорости ПАВ в стали 55ХН от уровня концентрации водорода

Ранее [6] нами уже были представлены результаты экспериментов, из которых видно, что в металлических материалах толщину измененного за счет диффузии водорода слоя можно определить по величине скорости ПАВ или отношению $\Delta V/V\%$. При этом отличие первичного и измененного материала по этим характеристикам может достигать 5 – 20%.

И, наконец, предельность состояния материала в значительной степени определяется параметрами механических воздействий на

него, в том числе и числом циклов нагрузки. При увеличении циклов воздействия на материал в нем происходит накопление дефектов повреждаемости. Данный процесс может достичь экстремального параметра, после преодоления которого объект исследования разрушится. Этот экстремальный параметр можно определять с использованием V(Z)-кривых. На рис. 5 представлен результат исследований зависимости значения уровня поглощения АВ ($\Delta V/V\%$) от числа циклов нагрузки для стали 08Х18Н10Т. Из рисунка видно, что при росте циклов до 3000 наблюдается резкий, практически линейный рост уровня затухания. Это свидетельствует об активном протекании процессов перестройки структуры. До 8000-9000 циклов уровень поглощения не меняется, а затем начинается значительный рост, приводящий к разрушению (при 15000-17000 циклов).

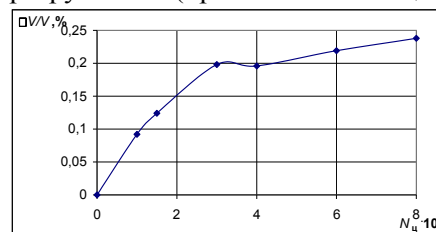


Рис. 5. Зависимость уровня затухания ($\Delta V/V\%$) от числа циклов ($N_{ц}$) для ст.08Х18Н10Т

Выводы

Полученные результаты подтверждают возможность выработки критериев предельного состояния водородсодержащих материалов методами акустомикроскопической дефектоскопии.

Литература

1. Куэйт К.Ф., Аталар А., Викрамасинг Х.К. Акустическая микроскопия с механическим сканированием. // ТИИЭР, 1979, т.67, N8, с.5-31
2. Atalar A. An angular spectrum approach to contrast in acoustic microscopy // J.Appl.Phys.1978. V.49. N10. P.5130-5139.
3. Кулаков М.А, Кустов А.И., Морозов А.И. Сканирующий акустический микроскоп // Приборы и техника эксперимента, 1986, N2, с.194-196.
4. Кустов А.И. Обнаружение неоднородностей акустомикроскопическими методами // "Физика и химия стекла", 1998, т.24, № 6, с.809-816.
5. Кустов А.И., Мигель И.А. Суходолов Б.Г. Изучение влияния различных видов термомеханической обработки на структуру и свойства сталей и сплавов // Металловедение и термообработка металлов", 1998, № 4, с.128-137.
6. Budanov A.V., Kustov A.I., Migel I.A. The study of the effect of hydrogen on physical-mechanical properties of steel by acoustic microscopy methods // Hydrogen materials science..., Science Series, II. Mathematics, Physics..., ed. M.D.Hampton, Dm.Schur, vol. 71 – 2002 - p.131-140.