

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И МОМЕНТА ПЕРЕХОДА ОТ РАССЕЯННОГО К ЛОКАЛИЗОВАННОМУ ДЕФЕКТОБРАЗОВАНИЮ ПО ВОССТАНОВЛЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПОТОКА АКТОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

© С.И.Буйло, А.И.Козинкина

Научно-исследовательский институт механики и прикладной математики при Ростовском-на-Дону государственном университете, 344090 Ростов-на-Дону, Россия
(Поступила в Редакцию 29 апреля 1996 г.)

Проанализирована связь потока повреждений с потоком актов сопутствующей акустической эмиссии (АЭ). Приведены полученные соотношения и экспериментальные результаты восстановления потока актов АЭ по регистрируемым сигналам АЭ. Перед разрушением зарегистрировано экспоненциальное возрастание восстановленной интенсивности потока актов АЭ, что позволило количественно оценить основные параметры кинетического процесса размножения дефектов. Обнаружен излом зависимости нормированного количества актов АЭ от приложенного напряжения. Излом интерпретирован как точка перехода от рассеянного к локализованному дефектообразованию.

Известно, что процессы кинетики микродеформирования и микроразрушения протекают дискретно во времени вследствие коллективных эффектов. При этом каждому коллективному акту повреждения материала (срыв лавины дислокаций, слияние микротрещин между собой, с макротрещиной и т.д.) соответствует первичный упругий импульс, процесс излучения которого представляет собой так называемый акт акустической эмиссии (АЭ).

Таким образом, измерение интенсивности потока (скорости следования) \dot{N}_a актов АЭ и их общего количества N_a в принципе позволяет исследовать кинетику накопления повреждений и диагностировать ранние стадии разрушения по сигналам АЭ [1-7].

Однако вследствие многомодового распространения, отражения, трансформации типов волн, затухания высокочастотных составляющих и резонансных свойств приемной аппаратуры регистрируемые сигналы АЭ сильно искажаются, растягиваются и частично накладываются друг на друга. При определенных условиях это приводит к большим (более 100%) ошибкам в оценке накопления повреждений по сигналам АЭ [4].

Количественный учет искажения позволил нам разработать метод восстановления истинных характеристик источника по регистрируемым сигналам АЭ [2-5]. Сущность метода заключается в следующем.

Исходя из физической природы явления АЭ, на основе кинетической концепции прочности с использованием статистической модели потока событий устанавливается конкретный вид функции (или плотности) распределения данного параметра по тем импульсам, которые еще не перекрылись. Затем распределение аппроксимируется в ту область, где регистрируемые параметры сильно исказились в процессе распространения и регистрации сигналов. Таким образом удается оценить истинные распределения параметров АЭ. Затем по восстановленным функциям распределения рассчитываются требуемые статистические характеристики источников АЭ. При этом получены следующие соотношения для восстановления интенсивности потока излученных актов АЭ \dot{N}_a по обычно регистрируемой скорости следования огибающих протектированных всплесков \dot{N}_d [4]:

$$\dot{N}_a = \dot{N}_d \exp [\Sigma t_0 / (T - \Sigma t_0)], \quad (1)$$

где Σt_0 — суммарная длительность регистрируемых импульсов (всплесков) АЭ за временной интервал измерения интенсивности T (например, $T = 1\text{ s}$, $T = 0.1\text{ s}$). Энергия и длительность самого акта АЭ, восстановленные нами по данным спектрального и корреляционного анализов сигналов АЭ сплавов железа, почти не зависят от скорости деформации и имеют следующие средние значения: энергия $E_a = 10^{-14} - 10^{-15}\text{ J}$, длительность τ_a менее 10^{-6} s [2,3].

Восстановленный поток актов АЭ соответствует потоку повреждений внутри твердого тела. Вследствие этого оказалось возможным количественно оценить по сигналам АЭ параметры процесса размножения дефектов перед разрушением.

В качестве примера на рис. 1 показано определение начальной концентрации и постоянной размножения дефектов по сигналам АЭ. Эти параметры трудно (а на ранних стадиях разрушения практически невозможно) получить какими-либо другими физическими методами исследования твердых тел.

В ходе эксперимента стандартные образцы стали 95Х18 (81% Fe, 0.9–1% С, 18% Cr) диаметром 6 mm и длиной рабочей части 75 mm подвергались одноосному растяжению с постоянной скоростью деформации $\dot{\epsilon}$. Результаты эксперимента приведены на рис. 1. Видно, что восстановленные согласно (1) значения интенсивности потока актов АЭ экспоненциально возрастают до самого момента разрушения, в то время как обычно регистрируемая скорость следования протектированных импульсов АЭ падает вследствие их сильного искажения и перекрытия. Общее количество потерянных актов АЭ пропорционально заштрихованной площади на рис. 1. Экспоненциальное возрастание \dot{N}_a перед разрушением хорошо согласуется с результатами исследования накопления повреждений при активном нагружении [6].

Согласно этим результатам, концентрация дефектов перед разрушением n может быть представлена как

$$n = n_0 \exp(\gamma \epsilon), \quad n = N/V, \quad (2)$$

где n_0 — начальная концентрация дефектов, γ — постоянная размножения, N — общее число дефектов, V — объем материала. Продифференцировав (2) по времени и считая, что каждый акт АЭ соответствует

образованию дефекта, получим

$$\dot{N}_a = V n_0 \gamma \dot{\epsilon} \exp(\gamma \epsilon). \quad (3)$$

Прологарифмировав (3), перестроив $N_a(\epsilon)$ на рис. 1 в полулогарифмических координатах и продлив прямую $\ln N_a(\epsilon)$ до точки $\epsilon = 0$, получим $\gamma = 3.8 \cdot 10^2$, $n_0 = 6.2 \text{ см}^{-3}$. Естественно, что это начальная концентрация дефектов с энергией акустического излучения, превышающей 10^{-15} Дж . Микроповреждения с меньшей энергией современной АЭ-аппаратурой не регистрируются [3].

Установлено также, что во многих случаях зависимость восстановленного количества актов АЭ от приложенного напряжения σ близка к степенной $N_a \approx C \sigma^k$, где C и k — некоторые константы [7]. На рис. 2 в двойных логарифмических координатах показана полученная нами зависимость количества актов АЭ от напряжения для стали 10ГН2МФА. Здесь N_a — количество актов АЭ до текущего момента времени, ΣN_a — суммарное количество актов АЭ за все время до разрушения образца, σ — текущее напряжение, σ_B — предел прочности.

Видно, что зависимость восстановленного количества актов АЭ от напряжения имеет излом. К сожалению, пока не удалось идентифицировать причину этого излома прямыми физическими методами. Однако по косвенным данным (например, по появлению максимума амплитудного распределения АЭ вблизи этой точки) можно полагать, что регистрируемый излом соответствует моменту перехода от рассеянного к локализованному дефектообразованию. Известно [3], что максимумы амплитудного распределения АЭ появляются при образовании и росте дефекта, соизмеримого по размерам с каким-либо достаточно большим структурным параметром, контролирующим этот

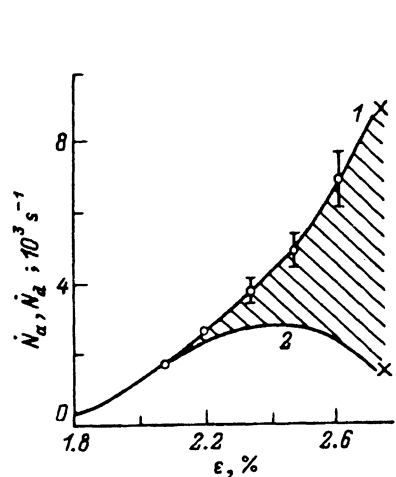


Рис. 1. Восстановление потока актов по регистрируемому сигналом АЭ.

1 — N_a , 2 — N_d . Материал — сталь 95Х18, скорость деформации $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, крестики — моменты разрушения.

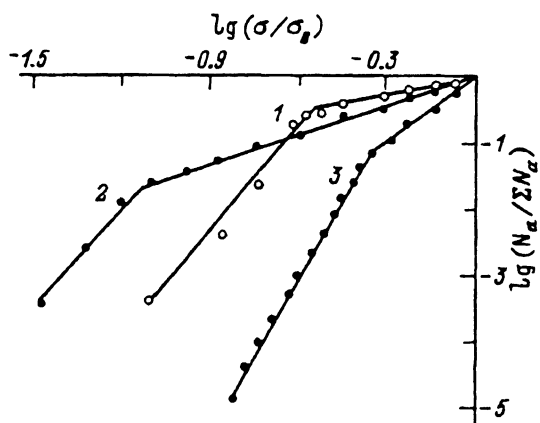


Рис. 2. Нормированная зависимость количества актов АЭ от приложенного напряжения.

1 — сталь 10ГН2МФА, 2 и 3 — слоистый углепластик соответственно при $\alpha = 0$ и 45° .

рост (например, когда границы зерен, субзерен или блоков являются эффективными стопорами для растущей трещины).

Аналогичные зависимости были получены нами также и в ходе исследований слоистых углепластиков при различных углах α приложения нагрузки относительно ориентации волокон (рис. 2). Видно, что эти зависимости подобны. Вместе с тем для разной ориентации наблюдается явное различие протяженностей стадий рассеянного и локализованного дефектообразования вследствие сильной анизотропии свойств данного композиционного материала.

Таким образом, восстановление потока актов АЭ позволяет получить новую (часто безальтернативную) информацию, необходимую для развития физических моделей разрушения твердых тел.

Список литературы

- [1] Acoustic Emission. Baltimore. ASTM. STP-505. (1972). 337 p.
- [2] С.И. Буйло. В кн.: Физика прочности гетерогенных материалов. ФТИ. Л. (1988). С. 153.
- [3] С.И. Буйло. В кн.: Акустическая эмиссия материалов и конструкций. Изд-во Рост. ун-та. Ростов н/Д (1989). Т. 1. С. 125.
- [4] С.И. Буйло. Дефектоскопия, 7, 13 (1995).
- [5] S.I. Builo, A.S. Tripalin. Proc. 3rd European Conf. on NDT. Florence (1984). V. 4. P. 332.
- [6] Л.К. Зарембо, В.А. Красильников, В.А. Румянцева, О.Ю. Сердобольская. Акуст. журн. 41, 5, 784 (1995).
- [7] А.И. Козинкина. Автореф. канд. дис. ИМАШ РАН. М. (1994). 20 с.