

Окончание табл. 2

4	9	$-2,711*10^{-19}$
4	10	$5,421*10^{-19}$
4	11	$-2,873*10^{-18}$
4	12	$-7,589*10^{-19}$
4	13	$-3,524*10^{-19}$
4	14	$-9,487*10^{-19}$
4	15	$-2,927*10^{-18}$

Таким образом, с помощью предложенной схемы производная элементарной функции вычисляется с точностью аппроксимации функции. Для наперед известной функции коэффициенты аппроксимирующей производную полинома могут быть хранимыми для каждого подынтервала, производная будет вычисляться за время нескольких сложений и умножений. В результате кусочно-полиномиальную аппроксимацию можно оценить временной сложностью $T = O(1)$ для вычисления стандартного вида функции, производной от нее и одновременно определенного интеграла от такой функции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромм Я.Е., Фирсова С.А. Устойчивое распараллеливаемое вычисление функций на основе таблично-алгоритмической аппроксимации с приложениями в численном анализе. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 86 с.
2. Ромм Я.Е. Бесконфликтные и устойчивые методы детерминированной параллельной обработки. / Диссертация на соискание степени д – ра техн. наук. – Таганрог: ТРТУ, 1998. – 546 с.; ВНИИ Центр. – № 05.990.001006.
3. Ромм Я.Е., Аксайская Л.Н. Схема кусочно-полиномиальной аппроксимации с минимальной временной сложностью на основе интерполяционного полинома Ньютона. – Таганрог. 2007. – 17 с.
4. Березин И.С., Жидков Н.Г. Методы вычислений. – Т.1. –М.: Наука, 1970. – 464 с.

А.В. Попов, В.Э. Жумай

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ АМПЛИТУД СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Акустико-эмиссионный (АЭ) контроль основывается на анализе информации, содержащейся в нестационарном случайном потоке импульсов эмиссии [1].

Предлагается метод оценки динамики развития процессов АЭ на основе их феноменологических моделей и экспериментальных данных, позволяющий устанавливать факт нарушения пуассоновского характера возникновения импульсов АЭ, являющийся сигналом начала развития процесса разрушения конструкции.

В отличие от метода инвариантов [2-4] основанного на обработке случайных временных интервалов между импульсами АЭ, описанный под-

ход предполагает обработку амплитудной информации, что дает ему целый ряд преимуществ, о которых будет сказано ниже.

Известно, что на начальном этапе механического деформирования твердых тел поток импульсов АЭ порождается пуассоновским процессом излучения сигналов микродефектами, и только при образовании микротрещин и слиянии их в макротрещины, нарушается независимость актов АЭ, что вызывает существенное изменение их статистических характеристик.

Сигнал датчика АЭ может быть аппроксимирован выражением

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k S(t - t_k), \tag{1}$$

где $S(t)$ – форма импульса датчика, a_k – случайная величина с конечной дисперсией, t_k – случайные моменты времени.

Когда случайные моменты t_k определяются пуассоновским процессом с интенсивностью λ , дисперсия определяется выражением [5]:

$$D_x = \lambda M[a_k^2] \int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t) dt. \tag{2}$$

Здесь $M[.]$ – знак математического ожидания.

Математическое ожидание процесса (1) при пуассоновском распределении моментов t_k

$$M[x(t)] = \lambda M[a_k] \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) dt = m_x. \tag{3}$$

Отношение

$$\frac{D_x}{m_x} = \frac{M[a_k^2] \int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t) dt}{M[a_k] \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) dt},$$

не зависит от интенсивности потока λ , а

$$\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} S(t) dt} = A$$

является константой, зависящей только от формы реакции датчика на импульс АЭ, определяющей его конструкцией.

Обозначим

$$J_\phi = A \cdot \frac{M[a_k^2]}{M[a_k]}. \tag{4}$$

Соотношение (4) назовем функциональным инвариантом, основываясь на экспериментально проверенном факте практически линейной зависимости J_ϕ от степени деформирования в зоне пуассоновского распределения моментов времени t_k .

Феноменологическая модель (1) адекватно описывает сигнал датчика АЭ.

Случайная величина a_k есть, по сути, амплитуда импульса, второй начальный момент которой

$$M [a_k^2] = \int_0^{\infty} a_k^2 p (a_k) da_k , \quad (5)$$

зависит от прочностных характеристик конструкции. Здесь $p(a_k)$ – плотность распределения величины a_k .

Суть предлагаемого метода функциональных инвариантов основывается на гипотезе существенного различия зависимости J_ϕ от степени деформирования материала в зоне пуассоновского распределения моментов, t_k , которая соответствует начальному этапу деформирования, и при нарушении пуассоновского распределения моментов t_k .

Различие является следствием возникающей зависимости между моментами появления импульсов АЭ, обусловленной появлением и развитием микротрещин с последующим объединением в макротрещину.

Исследованию вероятностной зависимости появления импульса в $(t, t+dt)$ от промежутков времени между t и моментами возникновения предшествующих импульсов посвящен ряд работ [6, 7], где показано значительное влияние возникающей корреляции между моментами t_k на характеристики импульсной последовательности.

Возможность определения факта выхода распределения моментов времени t_k из зоны пуассоновского распределения при нагружении образца на основе (4) проверялась экспериментально следующим образом.

Для одного и того же процесса АЭ вычислялась величина инварианта $J [2]$, который определяется соотношением

$$J = \frac{M [\tau^2]}{\{ M [\tau] \}^2}, \quad (6)$$

где τ – случайные интервалы между импульсами АЭ, для пуассоновского распределения моментов t_k $J=2$, и подсчитывалась величина J_ϕ (рис.1).

Как видно из рисунка кривая критерия J пуассоновского распределения моментов времени t_k и график J_ϕ выделяют практически одну и ту же зону, за которой начинается существенный рост J_ϕ .

Достоверность данного вывода подчеркивается тем, что критерий J оперирует с временными характеристиками импульсной последовательности, а J_ϕ определяется на основе анализа амплитудных соотношений.

Обработка многочисленных вариантов экспериментальных данных с различными материалами (Ст.3, АМГ6, стеклотекстолит) показала устойчивое проявление этого эффекта.

Основное преимущество предлагаемого метода по сравнению с методом инвариантов, изложенным в [2-4] состоит в том, здесь нет необходимости фиксировать моменты возникновения импульсов АЭ, что в условиях малого отношения сигнал/шум и наложении реакций датчиков АЭ друг на друга является достаточно сложной задачей.

Алгоритм реализации метода состоит в следующем. На начальном этапе нагружения определяются коэффициенты полинома $J_{\phi n} = a_0 + a_1 J_{\phi}$, описывающего экспериментальную зависимость J_{ϕ} от степени деформирования образца (конструкции) на ранних стадиях деформирования.

Многочисленные эксперименты с различными образцами показывают, что достаточна степень полинома $n \leq 1$.

Продолжая процесс нагружения, сравниваем результат оценки J_{ϕ} с расчетом по найденному полиному $J_{\phi n}$. Когда будет нарушен пуассоновский характер моментов t_k , т.е. наступит формирование микротрещин, результаты оценки J_{ϕ} и расчета $J_{\phi n}$ будут всё более расходиться, вплоть до образования макротрещины и разрушения. В зависимости от материала и назначения конструкции, степени ее ответственности, условий работы и других факторов должен быть сформирован критерий допустимости этого различия.

Данный подход к обработке сигналов АЭ является перспективным при решении задач оценки прочности конструкций и защищён Патентным законом РФ на изобретение. Дальнейшие исследования, целесообразно направить на применение к предложенным алгоритмам методов статистической радиотехники, позволяющих строить эффективные процедуры фильтрации сигналов и оценки «разладки» АЭ процессов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках гранта 06-08-01259.

Изменение J_{ϕ} (рис.1,а) и J (рис. 1,б) при деформировании до разрушения плоского образца сечения (3×30 мм) из стеклотекстолита. На рис. 1,а сплошной линией показан график J_{ϕ} , и пунктирной линией график $J_{\phi n}$ (при $a_0 = 15,7$ и $a_1 = 7,8 \times 10^{-4}$).

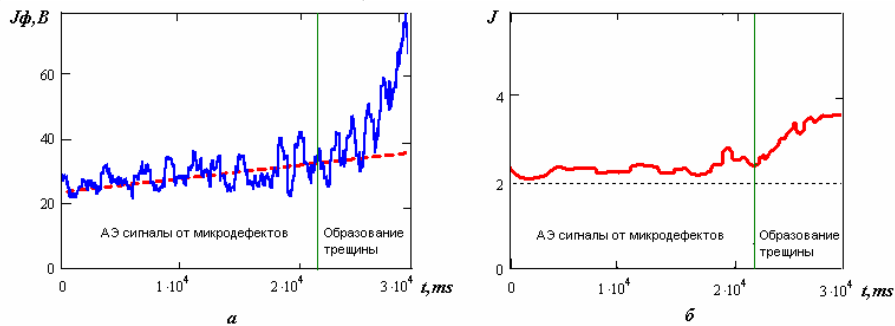


Рис. 1. Изменение J_{ϕ} и J при деформировании до разрушения плоского образца из стеклотекстолита

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалёва и др.; Под ред. В.В. Клюева. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656с.
2. Попов А.В. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле. Патент РФ на изобретение № 2233444.
3. Расщепляев Ю.С., Попов А.В. Метод инвариантов в задаче исследования потоков акустической эмиссии. //Дефектоскопия, №10, 2000. –С.79-82.

4. Буйло С.И., Попов А.В. Акустико-эмиссионный метод оценки параметров процесса накопления повреждений в задаче прогнозирования ресурса изделий ответственного назначения. – Дефектоскопия. 2001. – № 9.
5. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Корн Г. Корн. Т. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 833с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Советское радио, 1974. – 552с.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 380с.

Р.В. Сахабудинов, А.В. Чукарин

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ

В настоящее время метод вихревых токов применяется при неразрушающем контроле в металлообрабатывающей промышленности для обнаружения и классификации дефектов в изделиях, а также в качестве толщиномеров [1, 2]. Теоретические основы метода, в том числе и резонансного метода измерения магнитных характеристик токопроводящих конструкций изложены в [3].

К параметрам, характеризующим напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции, в первую очередь, относятся деформации и возникающие при этом внутренние механические напряжения. Существуют различные методы экспериментального измерения НДС материала конструкций [1]. При этом наиболее отработанными считаются методы непосредственного измерения деформации материала, в первую очередь тензометрические [2, 3], а при необходимости определения механических напряжений производится их расчет по измеренным деформациям. Прямое же измерение механических напряжений менее отработано и может производиться оптическими методами для прозрачных сред, а также ультразвуковыми, рентгеновскими и радиационными для непрозрачных сред.

В данной работе предложено использовать метод вихревых токов для определения механических напряжений, возникающих в конструкционном материале под действием внешних нагрузок при проведении диагностики наиболее ответственных узлов и элементов конструкций машиностроения.

Представленное в работе устройство предназначено для прямого измерения механических напряжений в токопроводящих конструкциях на основе метода вихревых токов [6]. Вихретоковый измеритель позволяет обеспечить контроль внутренних напряжений в конструкциях при их длительной эксплуатации, в том числе и в агрессивных средах, в диапазоне от 0 до 100 МПа с погрешностью не более 100 Па. Отличительными чертами