

УДК 534.615

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЗВУЧИВАНИЯ

© Н.Г. Чаусов, А.З. Богданович, А.А. Лебедев

*Украина, Киев, Институт проблем прочности НАН Украины*

Chausov N.G., Bogdanovich A.Z., Lebedev A.A. Specific features of methods for studying damage accumulation in structural materials by acoustic emission testing. Attention is focussed on specific features of methods for studying damage accumulation in structural materials by acoustic emission testing. The thickness of the contact material itself is found to influence appreciably acoustic penetrability of the system contact layer – specimen. The authors evaluate the influence of various types of stress concentrators on the parameters of an acoustic signal on passing through the specimen. For this purpose, a mathematical model of acoustic emission testing is constructed and numerical calculations are performed. It is shown that the procedure of the AE testing considered is valid for the evaluation of the damage accumulated in structural materials.

Известно, что одним из эффективных методов оценки состояния поврежденности материала конструкций является метод акустической эмиссии (АЭ). Метод хорошо зарекомендовал себя при контроле нагруженных изделий и при испытании образцов, вырезанных из них. В случаях, когда обеспечить нагружение изделия или добраться до его поверхности для установки акустических датчиков невозможно, а также когда результаты испытаний образцов не могут быть однозначно трактованы, важной информацией при оценке состояния металла конструкций является определение поврежденности металла на малых пробах без нагружения. В Институте проблем прочности НАН Украины получил дальнейшее развитие [1] предложенный ранее метод прозвучивания образцов-свидетелей и образцов, вырезанных из различных участков конструкций, акустическими сигналами, имитирующими акустическую эмиссию [2–4].

Метод, который можно назвать АЭ-сканированием или АЭ-зондированием, является родственным ультразвуковой дефектоскопии, отличаясь тем, что для генерации и приема сигналов используется АЭ-аппаратура, а анализ принятых сигналов аналогичен анализу сигналов АЭ при обычных испытаниях.

Необходимо, однако, отметить, что аппаратура АЭ-контроля является очень чувствительной к настройке, поэтому сложно провести ее метрологическую аттестацию. Кроме того, следует обратить внимание на тот факт, что звуковая волна, принимаемая аппаратурой, может существенно отличаться от звуковой волны, возникшей за счет образования различных дефектов или роста макротрещин. Поэтому в настоящей работе акцентировалось внимание на методических особенностях исследования поврежденности конструкционных материалов методом акустического прозвучивания.

Были реализованы следующие схемы опытов (рис. 1).

В качестве контактного слоя использовались машинное масло и пластические материалы на основе резины и воска. Однородность условий прижатия датчиков к образцу обеспечивалась специально изготовленной струбциной, а усилий прижатия – резиновым кольцом. Обработка полученных импульсов проводилась по параметрам максимальной амплитуды сигнала

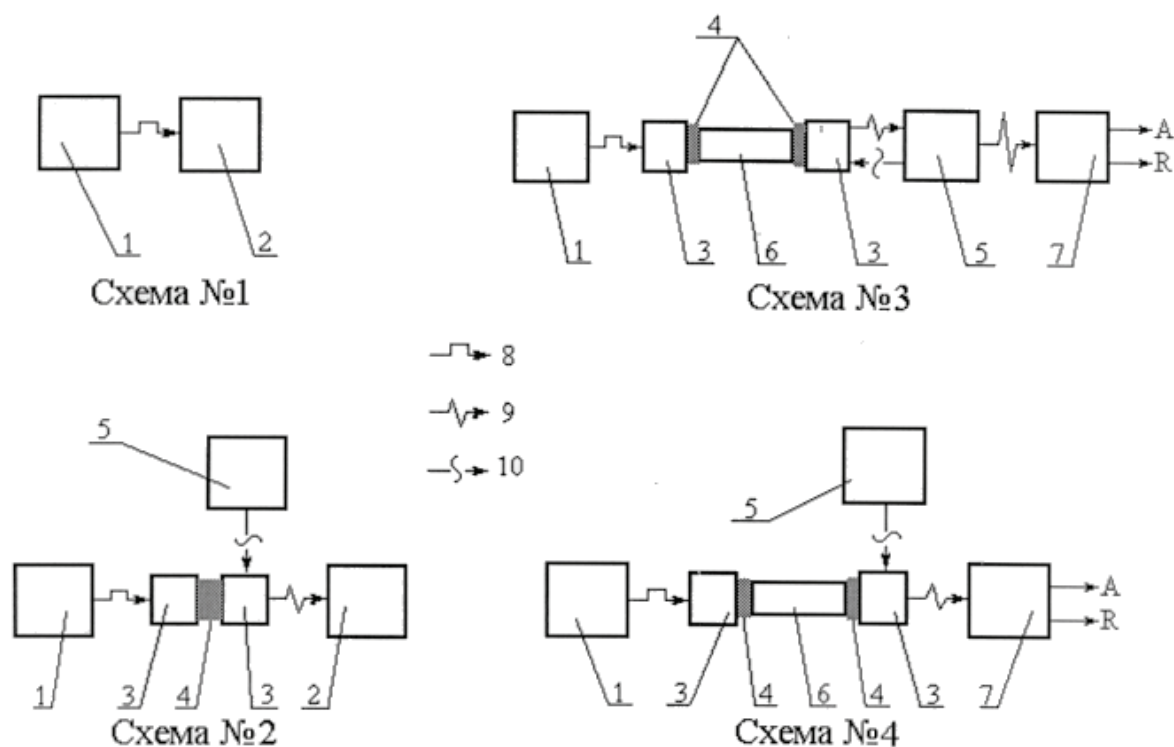
( $A$ ) и времени нарастания сигнала до максимума ( $R$ ). В каждом опыте через образец пропускалось до 60 звуковых импульсов, на каждый вид материала контактного слоя делалось по 10 опытов. Результаты измерений усреднялись. Установлено, что толщина контактного слоя и сам контактный материал существенно влияют на акустическую проницаемость системы контактный слой – образец. Стабильные результаты получены при использовании контактного материала на основе воска при его минимальной толщине.

В настоящей работе была также проведена оценка влияния концентраторов разных типов на параметры акустического сигнала при его прохождении через образец. Для этого построена математическая модель прозвучивания и выполнены численные расчеты.

При построении модели исходили из следующего. На плоских торцах исследуемых образцов закреплены одинаковые пьезодатчики. На один из этих датчиков подается единичный электрический импульс синусоидальной формы и, как следствие, в образце возникает акустическая волна малой амплитуды также приблизительно синусоидальной формы. Доходя до другого торца, эта волна вызывает перемещение его поверхности, которое приводит к динамическому сжатию закрепленного на ней второго датчика, генерирующего электрический импульс, регистрируемый АЭ-аппаратурой.

Анализ некоторых важных факторов эксперимента позволил рассматривать задачу в одномерной постановке. Прежде всего, акустическая волна со стороны генератора является плоской. Кроме того, данные экспериментов показывают, что регистрируемая после прохождения по гладкому (без выточки) образцу амплитуда этой волны практически совпадает в пределах точности измерений с первоначальной. Это позволяет с большой степенью достоверности пренебречь радиальными перемещениями стержня в ходе распространения изучаемых волн малой амплитуды.

Математическая модель исследуемых в стержне процессов была построена на основе дифференциального уравнения малых продольных колебаний упругого цилиндрического стержня переменного сечения при отсутствии в нем внешних распределенных сил [5].



**Рис. 1.** 1 – генератор импульсов; 2 – осциллограф; 3 – пьезоэлектрические преобразователи; 4 – контактный слой; 5 – усилитель аппаратуры «ЕМА», одновременно запитывающий датчики приема; 6 – прозвучиваемый образец; 7 – акустоэмиссионная аппаратура «ЕМА»; 8 – задаваемый генератором прямоугольный импульс; 9 – импульс, прошедший через образец; 10 – напряжение питания датчиков приема

Для численного решения поставленной краевой задачи применяли центрированную по пространству схему явного разностного интегрирования по времени типа «крест». Всю длину стержня разбивали на  $N$  равноотстоящих на расстояние  $\Delta_x$  узлов, в каждом из которых считали определенными значения перемещений  $U_x$  и вычисляли значения их первых и вторых производных по пространству, а также значение второй производной по времени.

После вычисления значений  $U_{xt}$  в каждом из пространственных узлов, находили значения перемещений на следующем временном шаге, отстоящем от текущего на интервал  $\Delta_t$ . После этого процесс повторялся до момента определения максимального перемещения на ненагруженном конце стержня, а также времени достижения этого максимального значения.

Расчеты, проведенные для стали 40ХНМА, показали следующие изменения параметров акустического сигнала, сведенные в табл. 1.

Как видим, для разных типов тестовых концентраторов отклонение параметров акустического сигнала при прохождении через образец не превышает 20 %, кроме случая с прямоугольной выточкой.

Для оценки влияния степени поврежденности материала на изменение параметров звукового сигнала были исследованы три цилиндрических стержня с параллельными торцами, изготовленные из стандартных образцов на растяжение с базой 100 мм и диаметром 10 мм, путем отрезания головок для захватов. Предварительно один образец был растянут до образования шейки ( $\varepsilon = 20,5\%$ ). Так как его диаметр при равномер-

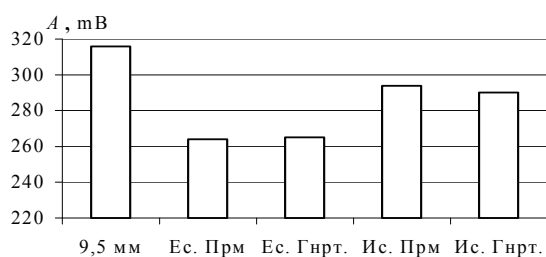
Таблица 1

Форма и размеры выточки	Соотношение характеристик импульса на ненагруженном и нагруженном концах	
	Максимальная амплитуда сигнала ( $A$ )	Время нарастания сигнала до максимума ( $R$ )
Прямоугольная	0,702	1
Угловая (60°)	0,992	1,025
Угловая (90°)	0,978	1,045
Угловая (120°)	0,943	1,059
Сферическая (1)	0,995	1,050
Сферическая (2)	0,968	1,074
Сферическая (4)	0,919	1,094
Сферическая (10)	0,846	1,099
Без выточки	1	1

ной деформации уменьшился до 9,5 мм, то и диаметр оставшихся стержней был уменьшен до той же величины. Кроме того, на одном из стержней была изготовлена искусственная шейка, аналогичная естественной. Ввиду не симметричного расположения шейки, образцы с искусственной и естественной шейками прозвучивались в двух направлениях.

Схема испытаний соответствовала схеме 4. Анализируя данные опытов, можно заметить, что, несмотря на теоретические предпосылки об обязательном изменении параметров звуковой волны при прохождении сквозь поврежденный материал, мы получили только изменение амплитуды, в то время как время восхождения сигнала до максимума остается неизменным. Это

можно объяснить следующим образом: теоретическое обоснование делалось относительно импульса, состоящего исключительно из одной осцилляции синусоидальной формы, а в нашем случае из-за того, что задаваемый сигнал является прямоугольным, его передний фронт представляет собой для пьезопластины ударную нагрузку, в результате чего на образец подается импульс промодулированный по амплитуде синусоидальными колебаниями с собственной частотой колебаний пьезопластины генератора. При прохождении такого сигнала через образец происходит наложение соседних осцилляций и, как следствие, при таком задаваемом первоначальном импульсе, параметр  $R$  становится малочувствительным к структуре материала.



Результаты исследований представлены на гистограмме, где: Ес. Ис. – соответственно, образец с естественной шейкой и образец с искусственной шейкой; Прм и Гнрт – обозначают направления прозвучивания; Прм – шейка расположена ближе к датчику акустиче-

ской системы; Гнрт – шейка расположена ближе к датчику от генератора.

Как видно, имеется существенное различие по параметру  $A$  при прохождении сигнала через образец с искусственной шейкой и образец с естественной шейкой. Это позволяет сделать вывод о том, что значительные изменения параметров звукового импульса связаны только с появлением в образце дефектов, а не с переотражениями сигнала при прохождении участка образца с шейкой. Кроме того, выявлено, что направление прозвучивания практически не влияет на его результат.

Таким образом, рассмотренная методика проведения экспериментов по АЭ-прозвучиванию материалов пригодна для оценки степени поврежденности конструкционных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. К.: Изд-во «Индром», 1998. 640 с.
2. Лысак Н.В., Скальский В.Р. О направлениях акустико-эмиссионного излучения при разрушении материалов и ее практическое применение // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1993. № 3. С. 22-32.
3. Киси Т., Окута Т. Оценка типа разрушения по диаграмме направленности излучения в сигналах акустической эмиссии // Находки канцэку гаккайси. 1984. Т. 48. № 9. С. 911-917.
4. Wadlay H.N.G., Sgruby C.B. Elastic wave radiation from cleavage crack extension / Int. J. Fract. 1983. V. 23. № 23. P. 111-128.
5. Трапезон А.Г. Об одном преобразовании и его свойствах в задаче о продольных колебаниях стержня // Проблемы прочности. 1993. № 10. С. 71-77.