



ПРОГНОЗ РАЗРУШЕНИЯ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

С. А. НЕДОСЕКА

Рассмотрен подход к оценке состояния материала по данным АЭ-испытаний, основанный на представлении разрушения материала как результата накопления повреждений в процессе деформирования, а именно возникновения пор, их роста и слияния. Предлагается задачу прогноза разрушения начинать решать с установления связи между кинетикой повреждаемости материала и возникающей вследствие этого акустической эмиссией (АЭ). Сформулированы этапы решения задачи прогноза разрушения по данным АЭ. Построена и реализована на компьютере модель для получения типовых «портретов» АЭ в зависимости от формирования и развития разрушения для различных полей повреждений. Созданы эталоны разрушения, и с их использованием разработан и реализован в алгоритме для систем АЭ-диагностики ЕМА-3 метод прогноза разрушающей нагрузки.

An approach is considered to evaluation of the condition of material by the data of AE testing, based on presentation of material fracture as a result of damage accumulation during deformation, namely initiation of pores, their growth and coalescence. It is proposed to start solving the problem of fracture prediction from correlation of the kinetics of material damage and the resulting acoustic emission (AE). Stages of solving the problem of fracture prediction by AE data are defined.

Задача оценки фактического состояния металла действующих конструкций и прогноза разрушения по результатам неразрушающих испытаний является чрезвычайно актуальной. В данной работе для решения этой задачи выбран метод акустической эмиссии (АЭ), получивший широкое распространение при контроле состояния промышленных конструкций в связи с тем, что имеет ряд достоинств, таких как:

возможность получения данных от источника акустических сигналов (как правило, развивающегося дефекта) на большом удалении от датчика;

возможность локации местоположения источника несколькими датчиками;

возможность контроля крупногабаритных конструкций, в том числе покрытых изоляционным слоем;

возможность дистанционного управления контролем оборудования, работающего при высоких и криогенных температурах.

К особенностям метода относятся трудность расшифровки полученных данных и отсутствие единой метрологии для оборудования различных производителей. Поэтому интерпретация информации, полученной при испытаниях, как правило, тесно привязана к конкретному оборудованию и программному обеспечению, предназначенному для обработки полученных данных.

Следует отметить, что большинство работ, проводимых в области АЭ-контроля, относятся к выявлению дефектных мест. В случаях, когда обнаруженные источники АЭ представляются опасными (высокий уровень амплитуды, большое ко-

личество сигналов, нарастающий темп излучения), традиционной практикой является дополнительный контроль обнаруженных мест расположения дефектов при помощи УЗК или другими методами неразрушающего контроля, позволяющими оценить размеры найденного дефекта. Затем проводят расчет дефекта методами механики разрушения с расчетом коэффициента интенсивности напряжений (обычно K_I). Сравнивая найденный коэффициент интенсивности с критическим (K_{IC}), получают критериальные данные для оценки состояния материала объекта контроля. Важным преимуществом такого способа оценки является подтверждение наличия дефекта различными методами. К недостаткам следует отнести следующие:

сложность согласования подходов к определению степени опасности обнаруженных дефектов, поскольку при оценке данных АЭ опасность связывают с развитием дефектов независимо от их формы, размера и ориентации, а для оценки методами механики разрушения важны именно указанные выше геометрические параметры;

сложность оценки погрешности расчетных методов механики разрушения, созданных для дефектов идеальной формы, в то время как реальные дефекты имеют обычно сложную форму и не всегда являются трещинами;

проблематичность оценки состояния объекта контроля в реальном времени, поскольку после обнаружения дефекта требуются дополнительные исследования и расчет.

Многие исследователи, включая автора данной статьи, проводили работы по изучению связи параметров АЭ с коэффициентом интенсивности напряжений. Было показано, что такая связь су-



ществует. В ряде работ предложены критерии разрушения, основанные на связи параметров акустических сигналов, в частности, амплитуды и других спектральных характеристик, с подрастанием трещин. Такой подход представляется весьма эффективным, поскольку теоретически позволяет оценивать состояние материала по данным АЭ в реальном времени. Тем не менее, ему также присущ ряд недостатков:

предлагаются методы оценки состояния металла с существующими трещинами, однако более важным с точки зрения эксплуатации реальных конструкций является недопущение трещин в материале и оценка состояния на более ранних стадиях развития разрушения;

использование амплитудных и других спектральных характеристик в качестве критериальных может дать серьезные погрешности, так как спектр сигнала АЭ, анализируемого на выходе акустико-эмиссионного оборудования, существенно зависит от сложной системы (объект–датчик–электронная часть–вычислительный тракт). Исследования показывают, в частности, существенное изменение параметров спектра и формы исходного сигнала АЭ в зависимости от толщины материала и свойств датчика;

сложность обоснования способов перехода от образца к конструкции. Взяв за эталон некие результаты АЭ-испытаний, полученные на образцах, очень сложно выделить из них ту информацию, которая относится собственно к материалу, а не ко всей системе нагружения. Еще более сложная задача — перейти от такого эталона к оценке конструкции, в которой отличаются условия нагружения, история нагружения, шумовой фон и присутствует влияние большого количества дополнительных эксплуатационных факторов.

Таким образом, методы оценки состояния материала по данным АЭ-испытаний существуют и широко используются на практике. Тем не менее, им присущ ряд недостатков, и актуальной является разработка новых подходов в данной области.

В работе рассмотрен один из таких подходов, основанный на представлении разрушения материала как результата накопления повреждений в процессе деформирования, а именно возникновения пор, их роста и слияния. Предлагается задачу прогноза разрушения по данным АЭ начинать решать с установления связи между кинетикой повреждаемости материала и возникающей вследствие этого АЭ.

Кинетический подход к моделированию развития разрушения. Как известно, импульсы АЭ возникают вследствие динамического, взрывного увеличения объема пустот в материале уже на самых ранних стадиях деформирования. Квантовая теория АЭ свидетельствует о том, что, несмотря на равномерный процесс деформирования, про-

цесс образования пор происходит дискретно. С учетом принципа Сен-Венана логично предположить, что для изотропных материалов форма вновь образовавшихся пор должна быть близка к сферической, что подтверждается экспериментально [1]. В процессе деформирования материала происходит возникновение пор, их рост, слияние и, в конечном счете, формирование трещины. Высвобождение энергии при каждом таком событии происходит динамически, порождая АЭ. При этом амплитуда возникшей волны будет зависеть от вновь возникшего объема пустоты в материале.

Такой подход хорошо сочетается с известными кинетическими концепциями повреждаемости материала, изложенными в работах Ю. Н. Работнова, С. Д. Волкова, А. Гэрсона, Ф. Мак-Клинтока, Дж. Райса, Р. Трейси, Й. Мураками, В. Твергарда, О. Ричманда. Особо следует отметить исследования, выполненные академиком НАН Украины А. А. Лебедевым и д-ром техн. наук Н. Г. Чаусовым, в которых для экспериментального получения данных по кинетике накопления повреждений использован метод полных диаграмм деформирования. Изучен, в частности, и подтвержден металлографическими исследованиями механизм накопления повреждений на всех стадиях деформирования, включая развитие трещины. Показано, что кривая повреждаемости не является линейной, а носит S-образный характер. Результаты экспериментов убедительно показывают, что повреждение в металлах развивается путем роста и слияния пор с последующим образованием трещины [1–6].

Логично утверждать, что АЭ, возникая именно вследствие динамического слияния пор, качественно и количественно отражает процесс накопления повреждений и формирования разрушения. Следовательно, сопоставив эти два процесса, можно разработать метод определения текущего состояния материала и прогноза его разрушения.

На основе изложенного выше, сформулируем этапы решения задачи прогноза разрушения по данным АЭ:

получение экспериментальных данных о связи повреждаемости материала с его акустическими параметрами;

построение кинетической модели накопления повреждений в материале путем роста и динамического слияния пор;

уточнение кинетической модели накопления повреждений на основе экспериментальных данных;

построение модели возникновения АЭ в материале вследствие роста и слияния пор;

уточнение модели возникновения АЭ на основе аналитического расчета параметров волн;



численное моделирование АЭ, возникающей в материале при различных условиях формирования повреждений;

создание базы эталонов АЭ для различных условий формирования повреждений и при различных уровнях деформации;

построение итерационного алгоритма распознавания образа для сравнения реальных данных АЭ с эталонами;

определение вероятного значения локальной деформации в области зарегистрированного источника АЭ на основе наиболее соответствующего эталона;

определение вероятного значения локальной деформации, при которой произойдет разрушение в области зарегистрированного источника АЭ.

Таким образом, необходимо построить модель, которая дает возможность получать типовые «портреты» АЭ в зависимости от формирования и развития разрушения для различных полей повреждений. Модель должна опираться на экспериментальные данные, но при этом иметь возможность задавать разные условия по первоначальной пористости, характеру формирования разрушения, учитывать влияние концентрации напряжений и другие факторы, определяющие характер развития повреждений в материале. Для получения такого объема данных модель должна быть реализована на компьютере.

Феноменологическая модель накопления повреждений и развития разрушения. Некоторые экспериментальные данные о связи повреждаемости материала с его акустическими параметрами, полученные с участием автора, приведены в работах [3–8]. При их получении пользовались АЭ-оборудованием ЕМА-2 и ЕМА-3. Один из датчиков АЭ использовали в качестве излучателя, один или несколько в качестве приемников сигнала. Для достаточно широкого класса металлических материалов на большом количестве образцов (более 300) было показано, что параметры акустических сигналов после прохождения через материал с повреждениями претерпевают существенные изменения. В частности, по мере роста повреждаемости амплитуда принятых сигналов падает, время нарастания сигнала до максимума увеличивается. Кривые зависимости указанных акустических параметров от деформации повторяют S-образную кривую накопления повреждений, полученную при механических испытаниях образцов. Результаты получены как при стандартных испытаниях на статическую прочность, так и на усталость, а также с учетом влияния ударных нагрузок. Данные акустических исследований подтверждены прямым методом взвешивания проб металла в жидкости [4], испытаниями на ударную вязкость. Установлена количественная корреляция поврежденности, определенной мето-

дом акустического прозвучивания проб металла, с определенной при механических испытаниях указанных выше проб методом микротвердости [8].

В качестве параметра, позволяющего оценить степень поврежденности материала в процессе разработки, предложена характеристика, имеющая смысл скорости нарастания акустического сигнала до максимума $V_i = A_i/R_i$, где A — амплитуда выходного сигнала; R — время нарастания выходного сигнала до максимума; $i = 1...3$ — направления прозвучивания [3, 4, 9, 10]. Сформулирован критерий оценки опасности накопленных в металле повреждений в виде:

$$\Delta W_{\text{ср}} = 1 - \frac{V_{\text{повр}}}{V_{\text{исх}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{исх}}$ — значение параметра V для исходного материала, $V_{\text{повр}}$ — для поврежденного.

Для моделирования процесса накопления повреждений предложена феноменологическая зависимость:

$$V = V_0 + n\varepsilon^{1/n} + m(1 - (1 + \varepsilon)^{1/n}), \quad (2)$$

где V — объем накопленных в материале повреждений; V_0 — начальный объем повреждений; ε — деформация; n и m — экспериментальные константы.

Проведенные численные эксперименты показали, что, используя указанную зависимость, можно с достаточно высокой точностью рассчитывать реальный объем пор в материале, приняв $n = NV_{\text{ср}}$, где N — количество пор в материале; $V_{\text{ср}}$ — объем среднестатистической поры.

Феноменологическая модель основана на предположении, что при деформировании в материале вначале происходит накопление повреждений, затем наступает стадия их роста, а на заключительных стадиях деформирования происходит интенсивное слияние пор, что соответствует трем участкам S-образной кривой [6].

Реализация и проверка модели накопления повреждений. Справедливость феноменологической модели подтверждена численным моделированием роста пор на компьютере следующим образом: задав количество, расположение и первоначальный объем пор, имеющих сферическую форму, в произвольном образце материала с известными механическими свойствами, а затем их пошаговый рост в зависимости от деформации, получим фактическое значение повреждаемости на различных стадиях деформирования.

Такая модель реализована на компьютере с использованием объектного подхода [11]. Программа позволяет задавать разнообразные условия расположения пор и накопления поврежденности в

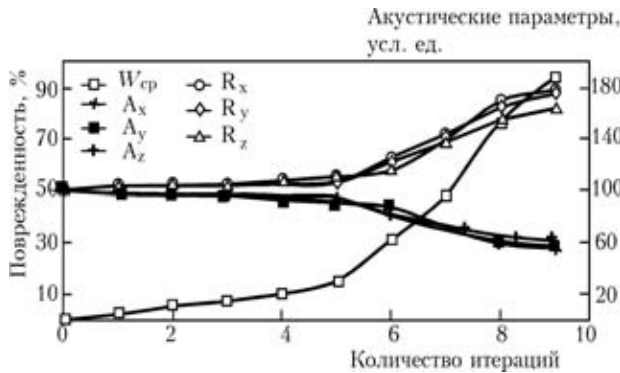


Рис. 1. Средняя поврежденность материала в процессе роста 20 пор и изменения параметров акустических сигналов в трех направлениях прозвучивания (модель)

динамике. Дополнительным подтверждением достоверности модели накопления повреждений служит также решение на компьютере обратной задачи. С использованием способа моделирования роста поврежденности покажем, что параметры акустических сигналов, проходящих через материал, меняются таким же образом, как в физическом эксперименте.

Построим физическую модель прохождения звука через среду с повреждениями. Будем считать, что уменьшение амплитуды первоначального сигнала и увеличение времени его нарастания до максимума пропорциональны отношению площади проекций пор на сечение материала в направлении прозвучивания к площади сечения материала, перпендикулярной направлению прозвучивания:

$$\Delta A_i = f_A(F_{повр}/F_M), \quad \Delta R_i = f_R(F_M/F_{повр}), \quad (3)$$

где $F_{повр}$ — площадь проекций пор на плоскость, перпендикулярную направлению прозвучивания; F_M — площадь сечения материала в направлении прозвучивания.

Для восстановления кривой повреждаемости по изменению акустических сигналов воспользуемся уравнением (1).

По результатам работы моделирующей программы построим графики, показывающие кинетику накопления повреждений и связанные с ней изменения параметров акустических сигналов. Зададим для простоты функции f_A и f_R линейными.

Рис. 1 и 2 показывают, что предложенная модель хорошо описывает процесс накопления повреждений в материале в виде S-образной кривой. Еще одним важным моментом является то, что данная модель подтверждает возможность оценивать объемную поврежденность материала прозвучиванием в трех направлениях. Для проверки работоспособности модели были проведены многочисленные опыты по прозвучиванию (на нескольких сотнях образцов).

Приведем в качестве примера сопоставление расчета, проведенного с использованием модели,

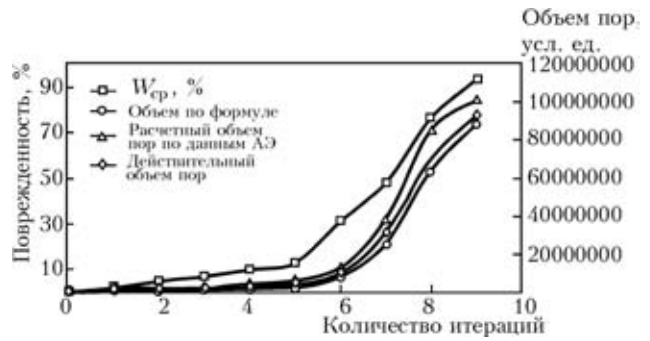


Рис. 2. Средняя поврежденность материала в процессе роста пор и сопоставление ее с расчетным и действительным объемом пор (модель)

и результатов прозвучивания линейного образца из сплава АМГ6. Образец нагружали с помощью стандартной разрывной машины. Подняв нагрузку до определенной величины, испытание останавливали и проводили прозвучивание образца. Затем нагружали далее, повторяя процедуру прозвучивания для различных стадий нагружения, до момента старта трещины включительно. Задав в численном эксперименте геометрические размеры рабочей части образца и параметры нагружения, получили аналогичную картину повреждаемости, соответствующую по численным показателям изменению параметров акустических сигналов и расчетной поврежденности (рис. 3). Аппроксимировав S-образные кривые линейными функциями, получили разброс коэффициентов, не превышающий 3%, что свидетельствует о достаточно хорошей корреляции экспериментальных и модельных данных.

Убедившись в том, что предложенная модель накопления повреждений имеет хорошее экспериментальное подтверждение, ее использовали в качестве базовой для реализации следующего этапа решения задачи прогноза разрушения — создания модели АЭ.

Модель АЭ. Физическую модель АЭ строили в предположении, что амплитуда возникающих сигналов пропорциональна объему вновь возникших в материале пустот. Программный интерфейс, созданный для реализации модели, позволяет имитировать возникновение АЭ от любого из трех факторов — возникновения пор, роста и слияния или произвольной их комбинации. Сопоставление модельных данных с экспериментальными позволило определить, что наибольшее соответствие моделируемой АЭ эксперименту достигается тогда, когда присутствуют только два из названных факторов — возникновение пор и их слияние. Это позволяет говорить о том, что, вероятно, рост пор происходит достаточно плавно и не является источником АЭ в диапазоне чувствительности АЭ-аппаратуры. Уточнение амплитудных характеристик, закладываемых в модель, проводят на основе решения аналитических

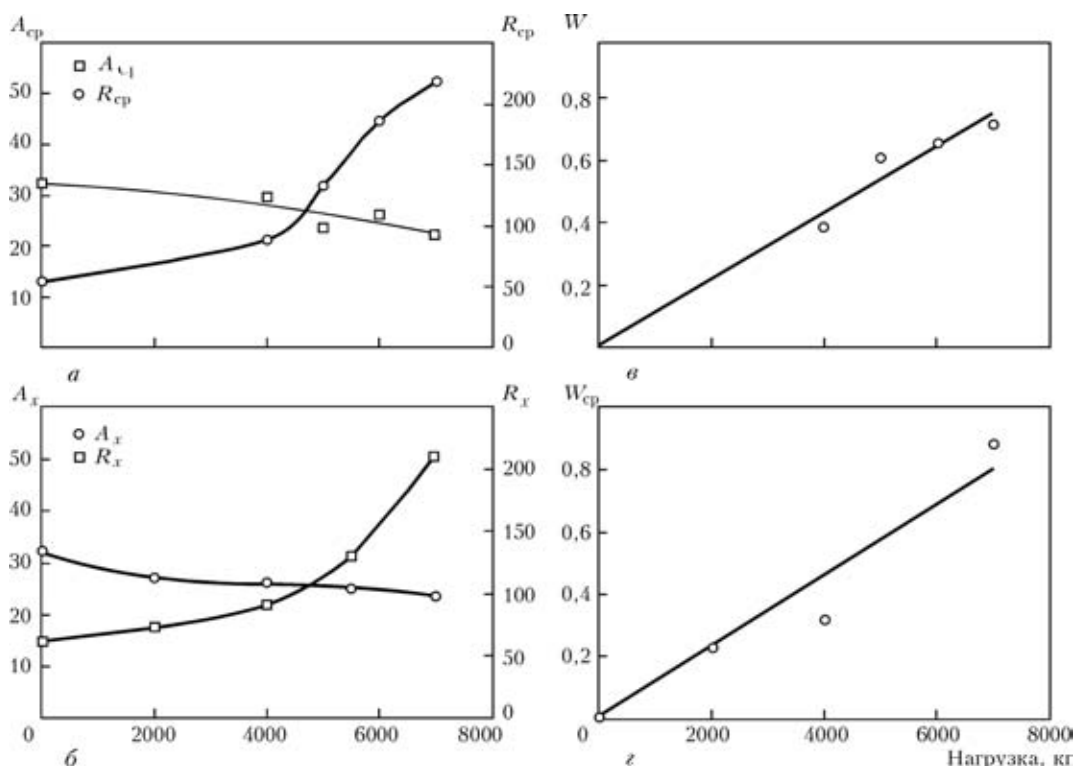


Рис. 3. Экспериментальные (а) и модельные (б) кривые изменения акустических параметров в процессе нагружения образца из сплава АМГ6 и аппроксимация прямыми поврежденности, определенной экспериментально (в) и при помощи модели (г)

задач о волновых процессах. Соответствующий математический аппарат и его программная реализация представлены в работах [12–14]. В результате в уравнения для вычисления амплитуд сигналов АЭ, возникающих вследствие образования новых пустот в материале, закладывают адекватные коэффициенты.

Модель позволяет задавать конкретные координаты и размеры для каждой поры, или же программно размещать их равномерно, случайным образом или в соответствии с нормальным законом распределения.

Был проделан большой объем численных экспериментов для получения эталонных характеристик разрушения при различном размещении пор для широкого спектра условий накопления

повреждений. Разработанная модель позволила получить эталоны АЭ, которые являются достаточно абстрактными, не привязанными к конкретному материалу или виду нагружения. Прежде чем приступить к решению задачи прогноза, следовало провести калибровку эталонов, полученных при моделировании. Работа в данном направлении показала, что эталоны достаточно пригодны для различных классов металлических материалов и лишь в отдельных случаях требуют незначительной коррекции при помощи экспериментально определяемых коэффициентов. Калибровка эталонов применительно к конкретному типу АЭ-системы проведена путем учета характеристик датчиков при расчете волновых процессов.

Прогноз разрушающей нагрузки. Первоочередной целью построения алгоритма прогноза являлся выбор параметра, который следует прогнозировать. Исходя из практического опыта АЭ-испытаний конструкций в промышленных условиях, в качестве такого параметра выбрали разрушающую нагрузку. Учитывая известную связь между нагрузкой и деформацией в виде диаграммы деформирования, можно достаточно эффективно прогнозировать разрушающую нагрузку, если известна разрушающая деформация.

Методика прогноза построена на распознавании образа с применением так называемых учителя и самообучения. Распознавание происходит в реальном времени. Важно отметить следующее: прогноз разрушающей нагрузки невозможен без

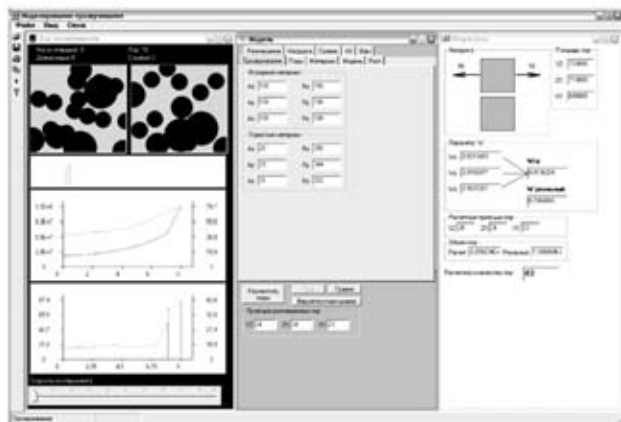


Рис. 4. Окно программы для моделирования роста пор и АЭ



знания текущего значения нагрузки, поскольку эталоны повреждаемости, используемые для распознавания, имеют привязку к деформации (и соответственно к нагрузке), при которой эта повреждаемость сформировалась. В частности, для сосудов, труб и резервуаров имеет смысл прогнозировать разрушающее значение давления, поскольку в условиях производства часто рабочее давление является единственным известным параметром, а другие, как правило, не измеряют.

Распознаванию подлежат массив данных, представляющих собой вектор с координатами

$$\{T_{\text{пр}}, A_{\text{пр}}, E_{\text{пр}}\}, \quad (4)$$

где $T_{\text{пр}}$ — время протекания процесса; $A_{\text{пр}}$ — обобщенная характеристика сигналов АЭ; $E_{\text{пр}}$ — приращение деформации. Приведенные значения параметров представляют собой относительные безразмерные величины в пределах 0...1.

Распознавание начинается с момента получения в процессе испытаний минимального достаточного количества обобщенных характеристик реальных сигналов АЭ. Полученные данные приводят к виду (4). Затем происходит их сравнение с эталонами. Получив с заданной степенью вероятности совпадение с некоторым эталоном по выбранным признакам, предполагают, что в данный момент его локальная деформация в области возникновения АЭ (определяющая состояние материала) соответствует тому проценту от разрушающей деформации $C_{\%}$, при котором сформирован эталон.

Таким образом, для получения прогнозной нагрузки следует выполнить простую операцию:

$$P_{\text{прогн}} = P(\epsilon_{\text{тек}})/C_{\%} = f(P_{\text{тек}})/C_{\%}, \quad (5)$$

где $P_{\text{прогн}}$ — прогнозируемая разрушающая нагрузка; $P(\epsilon_{\text{тек}})$ — текущая локальная нагрузка, связанная с текущей локальной деформацией через диаграмму деформирования; $f(P_{\text{тек}})$ — текущая локальная нагрузка, определенная по измеренной нагрузке, пересчитанной в локальную деформацию через диаграмму деформирования.

Следует отметить, что при работе металла в упругой области выражение (5) упрощается и становится обычной линейной зависимостью $P_{\text{прогн}} = P_{\text{тек}}/C_{\%}$.

Работа алгоритма распознавания усложняется, если следующий наиболее подходящий эталон не относится к тому же типу разрушения, что и предыдущий. В этом случае подключается система самообучения, и на базе существующих эталонов строятся новые. Распознавание представляет собой достаточно трудоемкий процесс с большим количеством итераций. Однако неоспоримым преимуществом метода перед расчетными является

то, что он не базируется на прочностных теориях, не оперирует геометрическими параметрами дефекта и механическими характеристиками материала. Таким образом, исключаются ошибки, которые могут повлиять существенным образом на точность расчета.

Остановимся подробнее на самой методике распознавания. Она базируется на вполне стандартных подходах, изложенных, в частности, в монографии проф. А. Я. Недосеки [12]. Основными задачами являются выбор классификационных признаков и методов сравнения одних классов с другими. В настоящей работе в качестве классификационного признака использовали центр тяжести фигуры, полученной путем определенных преобразований вектора $\{T_{\text{пр}}, A_{\text{пр}}, E_{\text{пр}}\}$. В частности, амплитудно-временное распределение подвергали смещению амплитуд по временной шкале для приведения его к равномерному по времени, и соответственно изменению величины амплитуды в зависимости от направления смещения. Затем данные приводили к безразмерному виду, достигая таким образом необходимого уровня абстракции эталона и независимости его от условий конкретного эксперимента.

Данные, полученные в процессе АЭ-испытаний, преобразовывали аналогичным образом, а затем проводили сравнение с эталоном и определяли прогнозную разрушающую нагрузку. Приведенная методика была апробирована в системе АЭ-контроля ЕМА-3 в качестве так называемого J-алгоритма. В результате обработки более 200 результатов экспериментальных данных (на образцах и натуральных объектах) были получены удовлетворительные результаты прогноза. Точность прогноза достаточно высокая, ошибка не превышает 15 % с вероятностью 0,95, что подтверждено ЦСМ Госпотребстандарта Украины. В настоящий момент системы ЕМА-3 в такой комплектации используются на ряде промышленных предприятий Украины, в частности, при контроле четырех хранилищ аммиака на Одесском припортовом заводе.

Следует также отметить, что на сегодня метод прогноза разрушающей нагрузки прошел необходимое тестирование только в составе системы АЭ-диагностики ЕМА-3. Для его адаптации к другим существующим АЭ-системам требуется проведение дополнительных исследований, и, возможно, определенная коррекция.

Выводы

Сформулированы этапы решения задачи прогноза разрушения по данным АЭ.

На основе экспериментальных данных, устанавливающих связь кинетики накопления повреждений с прохождением акустических сигналов через материал, создана и реализована на компьютере математическая модель накопления поврежде-



ний, реализующая акустический критерий и метод количественной оценки объемной поврежденности металлов.

Разработана, экспериментально подтверждена и реализована на компьютере математическая модель связи АЭ с процессом накопления повреждений в материале. Показано, что АЭ в пластичных материалах при деформировании вызвана возникновением и слиянием пор.

На основе математических моделей созданы эталоны разрушения, и с их использованием разработан метод прогноза разрушающей нагрузки.

Метод прогноза разрушающей нагрузки реализован в алгоритме для систем АЭ-диагностики ЕМА-3.

1. Чаусов Н. Г. Кинетика разрушения металлов на заключительных стадиях деформирования: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Киев: Ин-т проблем прочности, 1992. — 23 с.
2. Лебедев А. А., Чаусов Н. Г. Экспресс-метод оценки трещиностойкости конструкционных материалов: Препр. 3-88 / ИПП АН УССР. — Киев, 1988. — 53 с.
3. Модель накопления повреждений в металлических материалах при статическом растяжении / А. А. Лебедев, Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека, И. О. Богинич // Пробл. прочности. — 1995. — № 7. — С. 31–40.
4. Комплексная оценка поврежденности материала при пластическом деформировании / А. А. Лебедев, Н. Г. Чаусов, И. О. Богинич, С. А. Недосека // Там же. — 1996. — № 5. — С. 23–30.
5. Недосека С. А. Исследование кинетики разрушения металлов на заключительных стадиях деформирования ме-

тодом акустической эмиссии: Автореф. дис. ... канд. техн. — Киев: Ин-т проблем прочности, 1994. — 16 с.

6. Недосека С. А., Богинич И. О. Применение аппаратуры «ЕМА» для оценки поврежденности стали 20 акустическим методом // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1995. — № 1. — С. 66–69.
7. Чаусов Н. Г., Недосека С. А., Пилипенко А. П. Комплексная оценка поврежденности пластичных материалов при различных режимах нагружения // Там же. — 2004. — № 3. — С. 16–21.
8. Контроль текущего состояния металла труб действующих газопроводов. Метод исследования и результаты / А. А. Лебедев, Н. П. Музыка, Н. Л. Волчек, С. А. Недосека // Пробл. прочности. — 2003. — № 2. — С. 29–36.
9. Оценка поврежденности металла действующих газопроводов методом АЭ-сканирования / А. А. Лебедев, А. Я. Недосека, Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2001. — № 1. — С. 8–12.
10. Оценка состояния металла труб после длительной эксплуатации в системе магистральных газопроводов / А. А. Лебедев, С. А. Недосека, Н. П. Музыка, Н. Л. Волчек // Там же. — 2003. — № 2. — С. 3–8.
11. Недосека С. А. Объектный подход к решению задач механики несплошной среды и прогнозированию состояния материалов // Там же. — 1998. — № 1. — С. 13–21.
12. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Индпром, 2001. — 815 с.
13. Недосека А. Я., Недосека С. А., Олейник Р. А. Распространение волн акустической эмиссии в пластинах от действия локального источника излучения // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2001. — № 3. — С. 3–10.
14. Недосека А. Я., Недосека С. А., Волошкевич И. Г. Волны деформаций, возникающие при локальной перестройке структуры материалов // Там же. — 2004. — № 3. — С. 8–15.

МГП «Индпром»,
Киев

Поступила в редакцию
20.03.2007

СИ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Сигнальная информация (СИ) «Сварка и родственные технологии» содержит оперативную информацию на языке оригинала и в русском переводе оглавлений научно-технических журналов, монографий, сборников, трудов конференций, названий переводов статей, перечней документов Международного института сварки и других отечественных и зарубежных информационных материалов из более чем 100 периодических изданий 52 стран мира.

Сигнальная информация (СИ) «Сварка и родственные технологии» издается научно-технической библиотекой Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины с 1995 года. Периодичность 6 номеров в год. С 2005 года СИ выпускается и рассылается в электронном варианте.

Сигнальная информация «Сварка и родственные технологии» предназначена для научных работников и инженеров, профессорско-преподавательского состава, аспирантов и специалистов сварочного производства.

Местом хранения оригиналов всех изданий, представленных в выпусках СИ, является научно-техническая библиотека Института электросварки. С материалами можно ознакомиться в читальном зале библиотеки или заказать ксерокопии отдельных статей, переводов, документов и т. п.

Для заказа определенного документа достаточно указать только регистрационный номер материала, который находится в конце каждого описания. Например: СИ. 06.01.10.

По вопросам подписки и условиям выполнения заказов обращаться по адресу:

03680, ГСП, Киев-150, ул. Боженко, 11.
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Научно-техническая библиотека.
Факс: (044) 5280486; справки по телефону: 287-07-77.
E-mail: library@paton.kiev.ua