**Кафедра термофизики материалов**

Курсовая работа.

**Акустическая эмиссия при катодном наводороживании малоуглеродистых сталей и титановых сплавов.**

**Содержание.**

**Введение**

1. Акустическая эмиссия и ее основные параметры
2. Основные понятия и определения метода акустической эмиссии
3. Методы выделения сигналов АЭ на фоне помех
4. Методика электролитического наводороживания металлических образцов
5. Назначение прибора АФ-15
6. Источники акустической эмиссии в металлах
7. Практическая часть

**Выводы**

**Литература**

**Введение.**

В последнее время наблюдается тенденция неуклонного роста требований как к конструкционным материалам, так и к методам оценки их надежности и качества. Особое внимание уделяется разработке новых, физически обоснованных критериев конструк­тивной прочности материалов, основанных на всестороннем изу­чении явлений, лежащих в основе процессов деформации и разру­шения. Такой подход предполагает расширение наших представ­лений о природе прочности и механизмах разрушения материалов на различных масштабных уровнях. Это возможно только при ис­пользовании в процессе изучения данных явлений комплекса со­временных физических методов исследования [54].

Как показывает действительность, решение поставленной за­дачи комплексного подхода к проблеме несущей способности ма­териалов и конструкций возможно на стыке материаловедения, физики и механики разрушения, т.е. в рамках новых направле­ний - микромеханики разрушения и физической мезомеханики. Не исключены методы классического материаловедения. Широкие перспективы предвидятся на новых подходах, сочетающих прин­ципы синергетики и теории фракталов.

Метод акустической эмиссии (АЭ), основанный на регистра­ции и обработке волн напряжений, возникающих в результате формирования, изменения и разрушения структур различных ма­териалов, является в настоящее время наиболее эффективным для изучения процессов и стадий развития дефектной структуры и создания систем непрерывного мониторинга ответственных объек­тов промышленности.

Первые работы по изучению явления АЭ появились в конце 40-х годов 20 века в США и в начале 50-х годов в ФРГ. Развитие электроники и создание специальных аналоговых приборов АЭ позволили с конца 60-х годов использовать метод АЭ для обна­ружения роста трещин в процессе различных механических испы­таний. Новое возрождение метода АЭ относится к 90-м годам и связано с активным появлением и использованием персональных ЭВМ. Цифровая техника с большим объемом памяти и скоростью обработки информации позволила накапливать и хранить АЭ ин­формацию, а также при необходимости обрабатывать и анализиро­вать эту информацию по различным параметрам.

Анализ современного состояния работ показывает, что вся проблема, связанная с методом АЭ, может быть представлена сле­дующими научными направлениями [85]:

1. Теория и методы диагностики и прогноза несущей способ­ности конструкций, включающие вопросы теоретических и экспе­риментальных исследований разрушения.
2. Информационно-измерительные системы, предназначенные для анализа АЭ информации, необходимой для принятия решений о состоянии конструкций.
3. Математическое обеспечение измерительной аппаратуры, включающее рабочие программе организации обработки входя­щей информации и подпрограммы, связанные со сжатием инфор­мации, повышением достоверности результатов измерения на ос­нове теории распознавания образов, математической статистики и теории вероятностей.
4. Теория прогнозирования и принятия решений.

В предлагаемой работе предпринята попытка обобщить суще­ствующую информацию по использованию метода АЭ в экспери­ментальной практике современного материаловедения. Особое место в книге отводится использованию метода АЭ для исследо­вания процессов накопления повреждений в нагруженных мате­риалах, для неразрушающего контроля и диагностики несущей способности материалов и изделий.

**1 Акустическая эмиссия и ее основные параметры.**

Согласно ГОСТ 27655-88 акустическую эмиссию определяют как излучение материалом механических упругих волн, вы­званное динамической локальной перестройкой его внутренней структуры. Кроме того, в последнее время к АЭ относят вы­сокочастотное акустическое излучение, возникающее при исте­чении жидкостей и газов из отверстий в сосудах и трубопро­водах. Также акустические сигналы, сопровождающие трибологическое взаимодействие твердых тел. В настоящее время общепризнанным является мнение, что АЭ - явление, сопрово­ждающее едва ли не все физические процессы в твердых телах и на их поверхности, а возможность ее регистрации при проте­кании большинства процессов определяется лишь чувствитель­ностью используемой аппаратуры. АЭ возникает как в микро­процессах, обусловленных движением мельчайших элементов структуры тел, так и в макроявлениях, связанных с разруше­нием агрегатов и конструкций. Поэтому регистрация АЭ предо­ставляет широкие возможности для исследования твердых тел, их взаимодействия между собой и с жидкими и газообразными средами, а также диагностики материалов энергонапряженных конструкций.

Явление АЭ известно с середины прошлого столетия как "крик олова", возникающий при деформировании олова и слы­шимый невооруженным ухом. Однако в течение многих деся­тилетий оно не находило практического применения. С 50-х го­дов нашего столетия началось систематическое изучение аку­стической эмиссии в конструкционных материалах. Явление АЭ и причины его порождающие оказалось более сложным, чем предполагали пионеры АЭ-исследований. Середину 70-х годов следует рассматривать как период, когда была осозна­на сложность проблем, возникающих при интерпретации АЭ-сигналов, разработана высокочувствительная аппаратура, на­коплен определенный экспериментальный материал, достаточ­ный для решения как исследовательских, так и технических задач. К концу 70-х голов следует отнести начало применения АЭ для диагностики узлов трения.

Существующие методики контроля основаны на анализе па­раметров АЭ-сигналов. Методы обработки сигналов и опреде­ления их информативных параметров существенным образом зависят от вида регистрируемой АЭ. Принято различать дис­кретную и непрерывную АЭ. Чтобы понять, чем обусловлен выбор информативных параметров при регистрации того или иного вида АЭ, рассмотрим основные условия формирования акустических сигналов в твердых телах.

В силу дискретной природы вещества дискретны и проис­ходящие в них физические процессы. Кажущаяся непрерыв­ность процесса отражает факт усреднения результата наблю­дения большого числа отдельных элементарных событий. Эле­ментарное событие в твердом теле приводит к деформированию последнего, но столь незначительному, что оно, как правило, не может быть зарегистрировано известными средствами. Од­нако большое количество элементарных событий, образующих последовательность (поток) событий, может привести к макро­скопическим явлениям, вызывающим заметное изменение энер­гетического состояния тела. При высвобождении энергии часть ее излучается в виде упругих волн. Появление таких волн и есть акустическая эмиссия.

Проявляться АЭ может двояко. Если число элементарных событий, приводящих к возникновению упругих волн, велико, а энергия, высвобождаемая при каждом событии, мала, то АЭ-сигналы воспринимаются как слабый непрерывный шум, по­лучивший название непрерывной АЭ. Из-за малости энергии, высвобождаемой при единичном акте, энергетическое состоя­ние тела меняется незначительно. Вероятность осуществления следующего такого акта практически не зависит от предыдуще­го. Как следствие, характеристики непрерывной АЭ меняются во времени сравнительно медленно, что позволяет рассматри­вать этот тип эмиссии как квазистационарный процесс.

Если состояние тела далеко от равновесного, возможны про­цессы лавинного типа, при которых за малый промежуток вре­мени в процесс вовлекается большое число элементарных собы­тий. Энергия упругой волны при этом может на много порядков превосходить энергию упругих волн при непрерывной эмиссии. Подобная эмиссия, характеризующаяся большой амплитудой регистрируемых акустических импульсов, получила название дискретной.

Следует отметить, что разделение АЭ на непрерывную и дискретную достаточно условно, поскольку возможность раз­дельной регистрации АЭ-импульсов зависит лишь от характе­ристик используемой аппаратуры. Например, увеличивая уро­вень дискриминации сигналов, можно регистрировать только высокоамплитудные выбросы акустического сигнала, то есть формально перейти от регистрации непрерывной к регистрации дискретной АЭ, хотя очевидно, что сущность явления АЭ при этом не изменится.

В реальной ситуации, как правило, приходится иметь дело с эмиссией обоих типов. Например, докритическое подраста­ние трещин в металлах под действием внешних и внутренних факторов происходит скачкообразно. Продолжительные пери­оды стабильного состояния трещины, при некотором возмож­ном возрастании пластической деформации в ее вершине, че­редуются с моментами времени, когда трещина меняет свою длину с околозвуковой скоростью, переходя в новое равновес­ное состояние. Такой переход связан с изменением напряжен­ного состояния (разгрузкой) материала в окрестности трещины и сопровождается излучением упругой волны, регистрируемой преобразователем как сигнал дискретной АЭ. В промежутках между скачками, при накоплении пластической деформации, наблюдается характерная для пластического деформирования непрерывная АЭ. Сходная картина имеет место и в процессе развития усталостных трещин.

Ползучесть материала на первой, нестационарной, и вто­рой, стационарной, стадиях сопровождается непрерывной АЭ. На третьей стадии, помимо непрерывной, наблюдается также и дискретная АЭ, обусловленная образованием и развитием ми­кротрещин. Такое же положением имеет место при коррозии под напряжением, конечная стадия которой - коррозионное ра­стрескивание - сопровождается интенсивными акустическими вспышками дискретной АЭ.

Во всех указанных случаях в течение достаточно длитель­ного времени - докритической стадии развития трещины, сред­няя скорость ее роста, как правило, не превышает долей мил­лиметра в час. Трещина еще не представляет серьезной опасно­сти для конструкции, но возникающая при этом АЭ указывает на развитие дефекта и, следовательно, является предвестни­ком наступления катастрофического разрушения. Для прогно­зирования разрушения обычно используют дискретную соста­вляющую АЭ из-за простоты регистрации сигналов большой амплитуды.

Дискретную АЭ используют также при контроле техноло­гических процессов, в ходе которых возможно образование тре­щин (сварка; закалка; диффузионное насыщение, например наводороживание и др.), а также для исследования и контро­ля коррозионного растрескивания, прочности, термопрочности, усталостного разрушения, а также процессов трения и изно­са. Непрерывную АЭ связывают с пластической деформаци­ей, коррозией материалов и другими физическими процессами.

Еще раз заметим, что при всех перечисленных процессах, как правило, можно наблюдать как дискретную, так и непрерыв­ную составляющие АЭ.

Следует различать информативные параметры отдельных импульсов дискретной АЭ, потоков импульсов и параметры не­прерывной АЭ. Импульсы или сигналы АЭ характеризуются амплитудой, длительностью, формой и временем появления. Поток сигналов дополнительно можно характеризовать сред­ней частотой событий, спектральной плотностью, амплитуд­ным, временным и амплитудно-временным распределениями, корреляционной функцией, средним значением и дисперсией. Каждая из характеристик связана с порождающим АЭ физи­ческим процессом, содержит информацию о его развитии или же о состоянии объекта исследования.

Для дискретной АЭ вводятся следующие информативные параметры:

1. Общее число импульсов - число зарегистрированных  
импульсов дискретной АЭ за интервал времени наблюдения.

Само определение этого параметра говорит о его пригодно­сти для описания только потоков неперекрывающихся импуль­сов. Оно характеризует процессы, связанные с разрушением, и указывает на число отдельных актов зарождения и распростра­нения дефектов в материале или конструкции.

2. Активность АЭ - общее число импульсов, отнесенное к  
единице времени.

Информативность этого параметра такая же, как и преды­дущего, но с большей детализацией во времени, что дает воз­можность наблюдать динамику процесса разрушения.

3. Суммарная АЭ - число зарегистрированных превышений (выбросов) АЭ-сигналов установленного уровня в течение заданного интервала времени.

В случае дискретной АЭ эта величина характеризует число событий с энергией, превышающей установленное пороговое значение. При регистрации дискретной АЭ теряется часть ин­формации, связанная с импульсами, амплитуда которых мень­ше установленного порога - уровня дискриминации. Кроме то­го, возможность произвольного выбора этого уровня делает па­раметр неоднозначным. Если производить счет недетектированных импульсов, представляющих затухающие осциллирую­щие сигналы, поступающие с пьезоприемника, что практику­ется довольно часто, то появляется дополнительная неодно­значность результатов, обусловленная многократной регистра­цией одного и того же первичного импульса. При этом крат­ность воспроизведения его в счетном устройстве зависит от уровня дискриминации, коэффициента затухания колебаний в объекте и преобразователе, а также характеристик приемно-усилительного тракта.

4. Скорость счета  - число зарегистрированных превы­шений АЭ-сигналов установленного уровня в единицу времени.

Эта характеристика является производной суммарной АЭ по времени и обладает теми же недостатками. Некоторые авто­ры называют этот параметр интенсивностью АЭ.

5. Плотность вероятности амплитуды импульсов w(A) характеризует АЭ уже как случайный процесс. Эта функция определяет вероятность того, что амплитуда АЭ-импульса А0 находится в интервале от А до А + dA :

Р {А < A0 < А + dA} = w{A)dA.

На практике чаще используют характеристику n(А), назы­ваемую амплитудным распределением импульсов. Эта функ­ция указывает количество импульсов, амплитуда которых за­ключена в малом интервале от А до A+dA . Если общее чи­сло зарегистрированных импульсов равно N , то амплитудное распределение связано с плотностью вероятности w(A) соот­ношением

n(А) = N\*w(A),

причем



Функции w(A) и n(А) можно оценить по эксперименталь­ным данным, построив гистограмму распределения импульсов АЭ по амплитуде. Как известно, эта гистограмма отражает за­висимость количества импульсов ni (или доли таких импуль­сов ni/N), амплитуда которых заключена в малом интервале от Аi до Ai +  ,от величины амплитуды Аi. Нетрудно уста­новить взаимосвязь между этими функциями:

Nw(Ai)= n(Ai) = ni.

Определив по экспериментальным данным с использованием этих соотношений набор значений функций w(Ai) и n(Ai), в дальнейшем, например при помощи системы распределений Пирсона, можно подобрать аналитические вы­ражения для описания функций w(A) или n(А).

6. Распределение временных интервалов  между от­дельными АЭ-импульсами содержит важную информацию о физике явления и характере его развития. При взаимной независимости и одинаковой вероятности элементарных событий их последовательность (поток событий) описывается законом Пуассона. Если поток стационарен, то распределение интерва­лов времени между импульсами АЭ подчиняется экспоненциальному закону



причем среднее значение временного интервала между импуль­сами составляет величину . Справедливо и обратное утверждение - при экспоненциальном распределении интерва­лов между отдельными событиями, последние распределены по закону Пуассона. Такое заключение свидетельствует об отсут­ствии взаимосвязи отдельных событий, что само по себе слу­жит важной информацией о характере процесса. Например, о делокализованном разрушении материала конструкции.

7. Амплитудно-временное распределение импульсов АЭ n(A;t) – функция, указывающая количество импульсов АЭ dN, зарегистрированных в промежутке времени от t до t+dt амплитуда которых заключена в интервале от А до А + dA:

dN = n(A,t)dAdt.

Если эту функцию проинтегрировать по времени от 0 до Т - времени регистрации АЭ, найдем амплитудное распределе­ние импульсов АЭ, а проинтегрировав еще раз по амплитуде, получим общее число импульсов за время регистрации:

 

Другими словами, амплитудно-временное распределение отра­жает изменение амплитудного распределения импульсов АЭ во времени.

8. Спектральная плотность S(w) дискретной АЭ совпада­ет с соответствующей характеристикой случайного процесса и равна мощности процесса в единичной полосе частот.

Информативность спектральной плотности обусловлена ее связью со скоростью протекания процесса, инициирующего сиг­налы АЭ. Кроме спектральной плотности для анализа акусти­ческой эмиссии в ряде случаев бывает удобнее использовать корреляционную функцию. Информативное содержание этой ха­рактеристики то же, что и у спектральной плотности, посколь­ку между собой они связаны прямым и обратным преобразова­нием Фурье [46].

Для непрерывной АЭ меняется содержание некоторых из указанных характеристик. Кроме того, могут быть введены до­полнительные параметры для описания процесса. Так как те­ряется смысл понятия амплитуды отдельного импульса, сум­марная АЭ и скорость АЭ определяются числом выбросов слу­чайного процесса над уровнем дискриминации, т.е. числом пре­вышений регистрируемой величиной (электрическим напряже­нием, током) установленного уровня дискриминации за все вре­мя регистрации или за единицу времени соответственно. Вме­сто амплитудного распределения следует использовать плот­ность вероятности АЭ, определяющую долю времени наблюде­ния, в течение которого регистрируемая величина находится в интервале вблизи заданного значения амплитуды. Кроме того, вводятся одномерные и многомерные функции распределения указанных выше параметров.

**2. Основные понятия и определения метода акустической эмиссии.**

Акустико-эмиссионный метод основан на анализе параметров упругих волн акустической эмиссии (АЭ). Этот метод оперирует с потоками электрических сигналов АЭ, параметры которых (амплитуда, длительность, энергия, и т.д.) являются соответствующими параметрами метода АЭ.

Акустическая эмиссия может возникать в результате различных физико-механических процессов, основными из которых являются:

-структурные и фазовые превращения в материале;

-гидродинамические и аэродинамические явления при протекании жидкости или газа через отверстие;

-трение поверхностей твердых тел;

-процессы механической обработки твердых тел.

В данной работе рассматриваются физико-механические явления, связанные только со структурными и фазовыми превращениями в различных материалах.

Наиболее важные особенности метода АЭ, определяющие перспективность его использования при исследовании и контроле материалов и конструкций:

1. Возможность обнаружения и регистрации только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности.
2. Чувствительность метода АЭ значительно превышает чувствительность традиционных методов неразрушающего контроля, метод позволяет выявлять приращения трещины на 0,025 мм.
3. Метод является интегральным и обеспечивает контроль объекта с использованием одного и нескольких преобразователей в случае определения места нахождения дефекта.
4. Метод позволяет проводить непрерывный контроль (мониторинг) работающих объектов с целью их остановки в случае появления и развития опасных дефектов.
5. Положение и ориентация дефектов не влияют на их выявляемость.

Метод имеет значительно меньше ограничений, связанных со структурой и физико-механическими свойствами материалов, чем другие методы неразрушающего контроля.

Уровень дискриминации (ограничения) – уровень электрического напряжения, относительно которого производится обнаружение (регистрация) электрических сигналов АЭ. Наличие ограничения всегда существует в измерительной аппаратуре и обусловлено обычно собственными шумами измерительной аппаратуры. Величина уровня дискриминации определяется шумовыми характеристиками входного усилительного каскада.

Суммарный счет АЭ N[имп.] – число зарегистрированных превышении импульсами АЭ установленного уровня дискриминации (ограничения) за интервал времени наблюдения. Диапазон изменения 0…107 имп.

Скорость счета АЭ [имп./с] – отношение суммарного счета АЭ к интервалу времени наблюдения. Диапазон изменения 0…1015[имп./с].

Современная техника регистрации и обработки АЭ информа­ции пользуется дополнительными определениями и параметрами, не представленными в списке стандартов по ГОСТ 27655-88. Од­нако эти понятия и параметры широко используются в специаль­ной научной литературе отечественных и зарубежных авторов.

К таковым относятся:

Огибающая электрического сигнала АЭ - продетектированный электрический сигнал АЭ. Диапазон изменения 10-7 … 10-2 В.

Амплитудное распределение - распределение количества электрических сигналов АЭ по их максимальном амплитудам.

Длительность электрического сигнала АЭ [с] - время на­хождения огибающей электрического импульса АЭ над порогом ограничения. Диапазон изменения 10-4...10-8 с.

Время нарастания [с] - промежуток времени между по­явлением огибающей импульса АЭ над порогом ограничения и достижением огибающей ее максимальной амплитуды.

Энергия электрического сигнала АЭ либо «MARSE» (Mea­sured ared of the rectified signal envelope) Ec [Дж] - измеренная площадь под огибающей электрического сигнала АЭ. Диапазон изменения 10-19...10-5 Дж.

Образ источника АЭ (acoustic emission signature) - группа параметров сигнала акустической эмиссии, полученных в результате определенного вида испытаний материала (конструкции) с помощью конкретной аппаратуры АЭ и при заданных условиях испытаний.

Как было отмечено выше, в настоящее время большинство разработчиков систем регистрации и обработки АЭ информации, а также исследователей склонны работать с огибающими электриче­ских сигналов АЭ, т.е. с НЧ составляющей АЭ информации. По­добная тенденция вызвана несколькими причинами:

1. Ввиду фильтрации ВЧ составляющей акустического сигна­ла АЭ в процессе его прохождения через исследуемый материал и пограничный слой между поверхностью образца и АЭ преобразо­вателем, а также прохождения электрического сигнала по аналого­вому тракту усиления, исходная информация ВЧ составляющей искажается коренным образом.
2. Понятие события в исследуемом материале соотносится с огибающей электрического сигнала АЭ и работа с НЧ составляю­щей имеет вполне конкретный физический смысл.
3. Большинство параметров АЭ, таких как длительность собы­тия, время нарастания, амплитудное распределение, энергия и т.д., относится к НЧ составляющей АЭ информации.

4. Одновременное использование двух понятий ВЧ и НЧ составляющих в работах по акустической эмиссии приводит к подмене понятий и путанице в интерпретации получаемой информации.

Этот метод нашел широкое применение в материаловедении при исследовании процессов разрушения.

АЭ при наводороживании определялась с помощью прибора АФ-15. В качестве параметра АЭ выбран суммарный счет импульсов за 30 секунд, который фиксировался акустическим датчиком в частотных пределах от 200 кГц до 1000 кГц.

Были исследованы зависимости суммарного счета импульсов от времени наводороживания при различных уровнях дискриминации и плотностях катодного тока.

**3. Методы выделения сигналов АЭ на фоне помех.**

Исследования явления АЭ, проводимые в различных условиях на различных материалах, показывают, что сигналы АЭ имеют широкий спектр амплитудно-временных параметров. Сигнал АЭ может быть зарегистрирован на любой частоте, но амплитуда регистрируемого сигнала убывает обратно пропорционально частоте. По этой причине представляется очевидным стремление к ре­парации АЭ-сигналов на низких частотах, тем более что затуха­ние упругих волн существенно возрастает с увеличением частоты. ) однако с уменьшением частоты возрастают акустические помехи реобразователя АЭ-сигналов и электронной аппаратуры [9]. Этот факт налагает жесткие требования, предъявляемые не только к ре­гистрирующей аппаратуре, но и методам обработки и анализа ин­формации. Кроме собственных шумов аппаратуры тракты приема и обработки информации могут быть подвержены внешним шу­мам, для уменьшения воздействия которых широкое распростра­нение получили активные и пассивные способы подавления помех[10].

Активные способы подавления помех заключаются в по­давлении самого источника шума или уменьшении его влияния на исследуемый объект. Данный способ в основном используют для подавления шумов механического характера, создаваемых самим испытательным оборудованием: механическими и гидравлически­ми нагружающими машинами. С этой целью производят модерни­зацию испытательных машин с использованием специальных эле­ментов, предназначенных для уменьшения трения в сопрягаемых звеньях нагружающих устройств или звукоизолируют образец от испытательной машины за счет специальных прокладок, изолято­ров, шумопоглотителей.

При проведении особоточных физических экспериментов стремятся к применению бесшумных видов нагружения, таких как нагрев или охлаждение или к использованию предварительно на­груженных объектов. Активные способы эффективны при прове­дении испытаний материалов в лабораторных условиях. При про­ведении исследований, контроля и прогноза на реальных рабо­тающих объектах активные способы практически невозможно реа­лизовать.

Пассивные методы борьбы с шумами и помехами использу­ются практически во всех устройствах и системах регистрации и обработки сигналов АЭ.

1. Амплитудная дискриминация, как было указано выше, входит одним из блоков в аналоговый тракт АЭ систем и служит для отсечки шумов по амплитудному признаку путем сравнения пришедших сигналов с некоторым наперед заданным значением.

Кроме фиксированного порога ограничения иногда используют плавающий порог, т.е. производится непрерывное слежение за из­менением уровня помех в каналах тракта усиления сигналов АЭ.

2. Частотная фильтрация также реализуется одним из бло­ков в аналоговом тракте и заключается в ограничении полосы пропускания усилительного тракта. Ограничение в области ниж­них частот лежит в пределах 20...200 кГц, а в области верхних частот - 1,5...2 МГц. Ограничение в области нижних частот обу­словлено необходимостью отсечки шумов механического и испы­тательного оборудования, а ограничение частотного диапазона сверху - необходимостью отсечки электромагнитных наводок. Иногда частотная фильтрация используется для выбора узкой по­лосы пропускания, определяемой из условий испытания конкрет­ного материала, скорости распространения в нем продольных и поперечных волн, а также для регистрации трещин с определен­ными размерами.

1. Временная селекция заключается в запирании каналов ре­гистрации сигналов АЭ на время действия помех. Индикатором помех, обычно электромагнитных, служит специальный канал, ре­гистрирующий только помехи.
2. Параметрическая селекция или параметрическое стробирование заключается в пропускании сигналов АЭ на обработку электронной системой только при определенных условиях нагру­жения, например, при достижении нагрузкой определенного напе­ред заданного уровня. Этот тип селекции используют обычно при проведении усталостных испытаний.

5. Пространственная селекция служит для выявления при­надлежности принятого сигнала к сигналу АЭ или помехе путем определения пространственного местоположения источника сигнала. Такие системы требуют применения многоканальных сис­тем. Минимальное число каналов равно двум при работе с линей­ными объектами.

6. Двухпараметрическая селекция обычно используется в аналого-цифровых системах АЭ и заключается в отбраковке сиг­налов с определенными значениями их параметров. Так, например, сигналы с большой амплитудой и малой длительностью соответ­ствуют электромагнитным помехам, а сигналы с относительно не­большой амплитудой, но большой длительности характерны для механических шумов. Такие различия позволяют выделить реаль­ные сигналы АЭ, у которых эти параметры занимают промежуточ­ный диапазон, на фоне механических и электромагнитных помех.

7. В аналого-цифровых системах АЭ возможно использова­ние прямого вычитания сигналов помех из всей совокупности зарегистрированных сигналов АЭ. Для этого производится предварительная запись сигналов помех в конкретных условиях ра­боты нагружающего оборудования и действия других видов помех.

**4. Методика электролитического наводороживания металлических образцов.**

Для объяснения явлений, связанных с наводороживанием металла катода в растворах электролитов под действием стимуляторов и ингибиторов наводороживания, более продуктивным пока является рассмотрение процесса выделения водорода на основе обычных классических представлений о нескольких возможных стадиях общего процесса выделения водорода, определяющих кинетику процесса. Таких стадийных процессов рассматривают обычно три:

1. Разряд гидратированных ионов водорода электронами, вылетающими из металла – реакция Фольмера Н+∙ aq + e(Me)→H-Me. Образующиеся атомы водорода адсорбируются на поверхности металла катода.

2. Молизация адатомов водорода в молекулы – реакция Тафеля Над + Над→Н2. Возникающие таким путем молекулы водорода удаляются с катода путем диффузии в раствор (при малых плотностях тока) и в виде газовых пузырьков.

3. В некоторых случаях возможно удаление адатомов водорода с поверхности катода путем электрохимической десорбции:

Над + Н+∙ aq + e(Me)→Н2.

Количество серной кислоты в растворе не меняется. Однако при использовании стимуляторов и ингибиторов, реакции, происходящие при электролизе, существенно меняются.

В настоящей работе наводороживание проводилось в электролитической ячейке в однонормальном растворе серной кислоты с добавлением тиомочевины (стимулятор наводороживания). В качестве анода использовалась свинцовая пластина, катодом служил исследуемый образец.

Приборы:

1. Прибор акустико-эмиссионный АФ-15.
2. Источник тока Б5-46.
3. Вольтметр В7-21.
4. Акустический датчик.

**5. Назначение прибора АФ-15.**

Прибор предназначен для проведения исследований и контроля механических свойств различных объектов (образцы конструкционных материалов, сосуды давления, детали и узлы машин и механизмов, например, атомной энергетики, судостроение, авиаций) по информативным параметрам сигналов АЭ.

Прибор обеспечивает прием сигналов АЭ по двум каналам и одновременную регистрацию не менее четырех информативных параметров: амплитуда, скорость счета, сумма осцилляций, активность, сумма событий, разность времен прихода, форму и длительность импульсов АЭ на графопостроителях, анализаторов импульсов, цифропечатающих устройствах и Микро-ЭВМ.

**6. Источники акустической эмиссии в металлах.**

На современном этапе развития АЭ исследований можно вы­делить следующие основные источники АЭ, действующие на разных структурных уровнях в металлах:

1. Механизмы, ответственные за пластическое деформирование:

процессы, связанные с движением дислокаций (консерва­тивное скольжение и аннигиляция дислокаций, размножение дислокаций по механизму Франка-Рида; отрыв дислокацион­ных петель от точек закрепления и др.);

зернограничное скольжение;

двойникование.

2. Механизмы, связанные с фазовыми превращениями и фазовыми переходами первого и второго рода:

превращения полиморфного типа, в том числе мартенситные;

образование частиц второй фазы при распаде пересыщен­ных твердых растворов;

фазовые переходы в магнетиках и сверхпроводниках;

магнитомеханические эффекты из-за смещения границ и

**Таб.1.1. Параметры сигналов АЭ для некоторых источников**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид источника АЭ | Амплитуда или энергия импульса АЭ, Па или Дж | Длительность сигнала, мкс | Ширина спектра сигнала, МГц |
| Дислокационный источник Франка-Рида | (10-8- 10-7)G | 5- 5\*104 | 1 |
| Аннигиляция дислокации длиной 10-8- 10-6м | 4\*(10-18- 10-16) | 5\*10-5 | 102 |
| Образование микротрещины | 10-12- 10-10 | 10-3- 10-2 | 50 |
| Исчезновение двойника размером 10-9м3 | 10-3- 10-2 | 104 | - |
| Пластическая деформация объема материала с характерным размером 10-4м | 10-4 | 103 | 0,5 |
| Энергия тепловых шумов в единичн. полосе частот | 4,2\*10-21Дж/Гц | - | до 10 |
| Примечание: G- модуль сдвига | | | |

переориентации магнитных доменов при изменении величины внешнего намагничивающего поля.

3. Механизмы, связанные с разрушением:

образование и накопление микроповреждений;

образование и развитие трещин;

коррозионное разрушение, включая коррозионное растрес­кивание.

В таблице 1.1, приве­дены сведения, дающие представление о характеристиках не­которых из этих источников АЭ. Дополнительно, приведены данные об уровне акустических шумов, обусловленных тепло­вым движением атомов.

В поликристаллических материалах появление непрерыв­ной АЭ обычно связывают с пластической деформацией от­дельных зерен поликристалла. В поликристаллической струк­туре из-за неравномерного распределения напряжений пласти­ческая деформация отдельных кристаллов возникает при ма­лой общей деформации, когда металл с феноменологической точки зрения находится в области упругости. Поэтому по сиг­налам АЭ можно судить о появлении неоднородностей и микро­дефектов на начальной стадии деформирования и разрушения материалов.

Практическое использование явления АЭ основано на реги­страции упругой энергии, выделяемой в самом материале кон­тролируемого объекта. Зарождение, перемещение и рост дефек­тов сопровождаются изменением микроструктуры и напряжен­но-деформированного состояния материала. При этом происхо­дит перераспределение упругой энергии, что приводит к излу­чению АЭ-сигналов. Дискретная АЭ возникает при развитии дефектов. Поэтому с ее помощью можно выявить развивающи­еся и поэтому потенциально опасные, с точки зрения катастро­фического разрушения конструкций, дефекты. Этим метод АЭ выгодно отличается от традиционных методов ультразвукового контроля. В связи с этим большая часть экспериментальных и теоретических работ в области АЭ посвящена изучению взаи­мосвязи характеристик АЭ-сигналов с параметрами напряжен­ного состояния и разрушения материалов. Многими авторами предприняты попытки определения функциональных или кор­реляционных связей между параметрами трещин и регистри­руемыми при этом сигналами АЭ.

Не останавливаясь подробно на предпосылках, позволяю­щих получить такие зависимости (в ряде случаев их определя­ют по результатам обработки экспериментальных данных), в табл. 1.2 приведем некоторые из них.

Из представленных зависимостей, по мнению большинства исследователей, наиболее надежно установленной и устойчивой является степенная связь между общим счетом импульсов АЭ и коэффициентом интенсивности напряжений в вершине расту­щей трещины. Величину показателя степени m многие авторы связывают с размерами зоны пластической деформации в вер­шине развивающейся трещины. Однако, если придерживаться этой точки зрения, то значение параметра m должно равнять­ся четырем. Эксперименты дают более широкий диапазон из­менения этого параметра. Установлено, что показа­тель степени m является функцией безразмерного комплекса К2Ic\Еn, включающего вязкость разрушения КIc, модуль Юн­га Е и поверхностную энергию n) материала. В зависимости от величины комплекса параметр m для различных материалов может меняться в интервале от 4 до 10,5 , что хорошо согла­суется с экспериментально наблюдаемыми значениями этого показателя.

Следует отметить также работу [19], в которой приведе­ны результаты тщательных экспериментальных исследований и показано, что сумма пиковых значений амплитуд импульсов АЭ связана линейной зависимостью с площадью трещины, при хрупком разрушении стали 38ХНЗМФА.

**7. Практическая часть.**





Рис. 1. Поведение скорости счета АЭ при наводороживании титанового сплава ВТ1-0, плотность катодного тока 10 мА/см2; 1- дискриминация 6 dB, 2- дискриминация 8 dB.





Рис. 2. Поведение скорости счета АЭ при наводороживании титанового сплава ВТ1-0, плотность катодного тока 10 мА/см2; 1- дискриминация 10 dB, 2- дискриминация 12 dB.





Рис. 3. Поведение скорости счета АЭ при наводороживании титанового сплава ВТ1-0, плотность катодного тока 10 мА/см2 ; 1- дискриминация 16 dB, 2- дискриминация 20 dB.

0

200

400

600

800

1000

1200

1400

1600

1800

2000

0

100

200

300

400

500

600

Т, мин

**,** имп /30 с

1

2

3

4



Рис. 4. Зависимость скорости счета от времени наводороживания стали 20; 1,2 – закаленные образцы, 3,4 – отожженные образцы;при уровне дискриминации 8dB.

0

100

20

300

400

500

600

0

200

400

600

800

1000

1200

Т, мин

**,** имп /30 с



Рис. 5. Зависимость скорости счета от времени наводороживания; структура образца соответствует отпуску 2000С, плотность катодного тока 2 мА/см2, дискриминация 10 dB.

0

500

1000

1500

200

250

3000

3500

4000

4500

0

100

200

300

400

500

600

Т, мин

1

2

3

4



Рис. 6. Поведение скорости счета АЭ при наводороживании закаленного образца, плотность катодного тока 10 мА/см2; 1- дискриминация 6 dB, 2- дискриминация 8 dB, 3- дискриминация 10 dB, 4- дискриминация 12 dB.





Рис. 7. Скорость счета акустической эмиссии отожженного образца при разных концентрациях H2SO4; 1- 0,5н H2SO4, 2- 0,1н H2SO4, 3- 0,01н H2SO4; плотность катодного тока 10 мА/см2, дискриминация 8 dB.





Рис. 8. Зависимость скорости счета от времени наводороживания отожженного образца 1 и увеличенные в 10 раз значения на стеклянном датчике 2; плотность катодного тока 10 мА/см2, дискриминация 8 dB.

**Заключение:**

1. В ходе исследований было обнаружено, что зависимость скорости счета от времени наводороживания для всех исследуемых металлов имела три основные области: стадия роста, стадия насыщения (область максимального значения АЭ) и стадия снижения величины АЭ. В сталях область максимального значения АЭ наступала позже, чем в титане, а спад скорости счета происходил гораздо медленнее. Насыщение в титане происходило за 2 часа, а в сталях за 1,5-3 часа, причем с увеличением содержания углерода в стали стадия насыщения наступала быстрее. В титане падение скорости счета  было более быстрым, чем в сталях.
2. Исследованы кинетические зависимости скорости счета акустической эмиссии в электролитах при разных концентрациях серной кислоты. Установлено, что АЭ возрастает при повышении концентрации H2SO4.
3. Чем выше плотность катодного тока, тем больше значения АЭ.
4. В данной работе проводилось наводороживание закаленных и отожженных образцов. По зависимостям можно сделать вывод, что закаленные образцы быстрее наводороживаются, чем отожженные, а также значения АЭ у закаленных образцов больше, чем у отожженных образцов.
5. Рассмотрены основные факторы, влияющие на значения АЭ : выделение пузырьков (газообразный водород) на поверхности катода и их «схлопывание»; накопление водорода в порах кристаллической решетки; сегрегация водорода у дислокаций, скоплений вакансий; образование трещин по границам зерен из-за большой концентрации водорода; коррозионное разрушение образца; образование и раскрытие коллекторов заполненных водородом; перемещение дислокаций под действием неоднородных внутренних напряжений, вызванных водородом.

6. “Схлопывание” пузырьков не значительно влияет на значения АЭ.

**Выводы:**

1. Механизм возникновения и изменения АЭ в ходе электролитического наводороживания тесно связан с накоплением и перераспределением водорода в образце.
2. АЭ зависит от плотности катодного тока, концентрации серной кислоты, площади поверхности образца опущенного в электролит.
3. Коррозия образца, выделяющиеся пузырьки на поверхности образца и их схлопывание вносят несущественный вклад в общую величину АЭ.
4. Наибольшая интенсивность акустических сигналов наблюдалась в диапазоне частот 200-500 кГц.
5. Изменение АЭ в процессе наводороживания можно будет связать со степенью диффузии и окклюзии водорода в материале.

Литература:

1) Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедений/

**Н.А. Семашко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин** и др./ «Машиностроение-1» 2002 г.

2) **Белоглазов С.М.** Наводороживание стали при электрохимических процессах. / Изд-во Ленинградского университета, 1975 г.

3) **Баранов В. М., Кудрявцев Е. М., Сарычев Г. А., Щавелин В. М.** Акустическая эмиссия при трении. М.: Энергоатомиздат, 1998 – 256 с.

4) **Иванов В. И., Белов В. М.** Акустико-эмиссионный контроль сварных соединении. М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

5) **Алексеев И. Г., Кудря А. В., Штремель М. А.** Параметры акустической эмиссии, несущие информацию об одиночной хрупкой трещине.

6) Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике/**В. И. Артюхов, К. Б. Вакар, В. И. Макаров** и др./ Под ред. **К. В. Вакара.** М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.

7) **Филоненко С. Ф.** Акустическая эмиссия. Киев. 1999. 304 с.

8) **Хруцкий О. В., Юрас С. Ф.** Акустико-эмиссионный метод диагностирования судовых энергетических установок. Учебное пособие. Ленинград. 1985. 47 с.

9) [85] **Патон Б. Е.** Об основных направлениях работ в области акустической эмиссии. Акустическая эмиссия материалов и конструкции// 1-ая Всесоюзная конференция. Ч. 1. Ростов-на-Дону. Издательство Ростовского университета. 1989. 192 с.