МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М. А. СУСЛОВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

I-я ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

„АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ“

11—13 сентября 1984 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Часть II

Ростов-на-Дону

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.А. СУСЛОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

I-я ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

" АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ "

II-I3 сентября I984 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Ч.II

АЭ при физико-химических и физико-механических процессах.

АЭ как метод неразрушающего контроля изделий.

АЭ при технологическом контроле.

АЭ горных пород и выработок.

РОСТОВ-НА-ДОНУ

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ОБЩЕЙ И ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В.М.Баранов, Т.В.Губина

Известно, что дискретная АЭ сопровождает конечную стадию коррозии под напряжением - коррозионное растрескивание [I] . Однако акустическое излучение (АИ) возникает задолго до того, как образующиеся микротрещины могут быть обнаружены. В связи с этим представляет значительный научный и практический интерес изучение источников и характеристик АИ на стадиях коррозии, предшествующих коррозионному разрушению материалов. Нами исследовалось АИ при равномерной, точечной и межкристаллитной коррозии. С этой целью образцы исследуемых материалов в форме тонких, узких и длинных пластин погружали нижней частью в коррозионную среду, а в верхней части соединяли с пьезопреобразователем акустического регистратора. Вид и интенсивность коррозии задавали электрохимической поляризацией, изменяя ток через коррозионную ячейку, пропускаемый с помощью вспомогательного электрода, соединенного с аккумуляторной батареей. АИ регистрировали в полосе частот шириной 7-8 кГц около основного радиального или толщинного резонанса пьезопреобразователя. Параметрами регистрации являлись уровень процесса σ и скорость счета $\dot{N}$.

Исследования проведены на образцах пассивирующихся на воздухе металлов (алюминий, медь, цирконий) и их сплавов. Основные результаты исследований сводятся к следующему.

Амплитудные распределения непрерывного АИ в случае равномерной коррозии носят близкий к нормальному характер при последетекторном счете и экспоненциальный - при додетекторном. Нормальный вид распределения обусловлен характером коррозии, представляющей последовательность большого числа событий, дающих примерно одинаковый вклад в результирующий процесс, а также узкополосной регистрирующей аппаратурой. Экспоненциальное распределение соответствует характеру затухания колебаний образца и пьезопреобразователя со временем. Анализ причин возникновения АИ показал, что ими могут являться как флуктуации потока единичных коррозионных событий, так и газовыделение, сопровождающее растворение образца. В пользу первого свидетельствует пропорциональность σ квадратному корню

из тока коррозии, которая следует из рассмотрения АИ как следствия флуктуаций пауссоновского потока коррозионных событий. Газовыделение сопровождается появлением пика на распределении при сравнительно больших амплитудах сигналов, который характеризует соответствующее дискретное АИ. Установлен близкий к линейному характер зависимости σ от перенапряжения электрохимической реакции.

Точечная коррозия сопровождается АИ, σ и $\dot{N}$ которого после всплеска, характерного для начального этапа коррозии после включения поляризующего тока, убывают и, после достижения некоторого минимального уровня, начинают вновь возрастать. Как показали микроскопические исследования, подобный характер изменения АИ обусловлен питтингообразованием в начале поляризации и последующим уменьшением его скорости. Возрастание $\dot{N}$ после достижения минимума связано с увеличением поверхности питтингов и перерастанием их в обширные язвы.

При межкристаллитной коррозии зависимость уровня АИ от поляризующего тока носит степенной, более резкий, чем при общей коррозии, характер. Это обусловлено наличием значительных локальных коррозионных токов, стимулируемых смещением потенциала образца поляризующим током, который играет роль управляющего. Однако линейная связь σ с перенапряжением коррозии сохраняется.

Предположение о флуктуационном механизме возникновения АИ при коррозии, упомянутом выше, позволяет рассмотреть возможность акустического контроля процесса нанесения гальванических покрытий. Если ток осаждения не превосходит сотен мА/см^2, то, как показывают оценки, трудно ожидать появления АИ за счет флуктуационных эффектов из-за малой массы ионов. Если осаждаются комплексы ионов, возможно возникновение АИ, параметры которого могут служить для контроля процесса осаждения. Проведенные исследования позволили установить связь $\dot{N}$ со средним размером осажденных частиц и соответственно качеством покрытия.

На основе полученных результатов разработан простой прибор для регистрации АИ при коррозии. Он содержит выносной щуп с пьезопреобразователем и предусилителем, преобразователь частоты, усилитель, оптронную развязку для устранения влияния электромагнитных помех, дискриминатор уровня, встроенный счетчик импульсов.

Литература:

I. Баранов В.М., Молодцов К.И. Акустикоэмиссионные приборы ядерной энергетики. М.: Атомиздат, I980.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ (АЭ) ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ (ФХ) ПРОЦЕССАХ

А.В. Бакулин

В твердых телах при ФХ процессах могут возникать напряжения, порождающие микроразрушения и выделение АЭ. Исследования в этой области находятся в начальной стадии, и основная цель сообщения - привлечь внимание к проблеме. Множество ФХ процессов, в которых наблюдалась, либо должна наблюдаться АЭ, можно разбить на несколько групп.

К первой относятся случаи, когда напряжения и АЭ целиком обусловлены ФХ явлениями. Например, при кристаллизации из расплавов и растворов, электрокристаллизации, катодной поляризации металлов в растворах, активно-пассивном переходе металлов, репассивации, питтинговой коррозии. Можно ожидать АЭ при растворении, сопровождаемом дезинтеграцией, термическом разложении, окислении. АЭ возникает при образовании кристаллизационных трещин, формировании и разрушении коллекторов водорода, разрушении и перестройке пассивной пленки, отслоении окалины, газовыделении в твердом теле. В большинстве случаев доскональных исследований источников АЭ не проводилось.

Ко второй группе относятся случаи, когда в твердом теле в исходном состоянии имеются микронапряжения структурного характера, которые могут способствовать выявлению АЭ при ФХ процессах, например, при химическом и электрохимическом растворении, межкристаллитной и расслаивающей коррозии.

К третьей группе можно отнести ФХ явления, протекающие на фоне макронапряжений, например, относящиеся к области ФХ механики материалов (коррозионное растрескивание, корррозионная усталость, фреттинг--коррозия), либо к области ФХ гидродинамики. В этих процессах ФХ компонента АЭ обычно маскируется АЭ механического происхождения, причем современные аппаратурные методы (амплитудная селекция, временной анализ параметров амплитудного распределения и др.) могут быть недостаточны для выделения сигналов от ФХ процесса. Например, пристеночная турбулентная пульсация, срыв потока за препятствием, кавитация сопровождаются АЭ. В агрессивной среде эти явления интенсифицируют ФХ процессы на поверхности твердого тела, что должно вносить дополнительный вклад в АЭ, однако экспериментальные трудности пока не позволяют обнаружить такой эффект.

Существует группа ФХ явлений (кипение, газовыделение в жидкости при химических реакциях), которые сопровождаются акустическим излуче-

нием, возникающим на границе жидкость-газ. Формально такое излучение не относится к АЭ, однако может быть зарегистрировано АЭ аппаратурой и использовано для контроля режима работы реакторов, изучения кинетики химических реакций.

В настоящее время метод АЭ используют главным образом при исследовании коррозионного растрескивания, т.е. явления наиболее близкого механическому разрушению. Исследование АЭ при ФХ процессах, относящихся к двум первым группам, будет полезно для ряда направлений :

I. Изучение природы ФХ процессов. Например, обнаружение и исследование АЭ при активно-пассивном переходе[I]позволяет предложить механизм влияиия водорода на трещиностойкость, заключающийся в том что он препятствует репассивации активного металла в вершине трещины.
2. Контроль материалов. Например, выявление структуры, чувствительной к водородному охрупчиванию[2], контроль остаточных напряжений[3], контроль коррозионной стойкости [4] .
3. Контроль технологических процессов. Например, связанных с водородным охрупчиванием (травление, электрохимическая защита) [5] , кристаллизацией (литье, сварка, электрохимическое осаждение).
4. Контроль состояния конструкций. Например, контроль неразвивающихся дефектов путем использования акустически активных пенетрантов, т.е. проникающих в дефекты веществ, которые вызывают АЭ за счет кристаллизации в дефектах[6], либо гетерогенных реакций со стенками дефекта.

Литература :

I. А.В. Бакулин, В.И.Попов."Источники акустической эмиссии при активно-пассивном переходе". Защита металлов, I984 г.
2. А.В. Бакулин. Способ контроля. Авт. свид. № I022045.
3. А.В. Бакулин, В.И. Коковин. Способ контроля. Авт. свид.№993II4.
4. А.В. Бакулин, В.Н. Малышев."Акустическая эмиссия в процессе расслаивающей коррозии алюминиевых сплавов". Защита металлов, № 2, I978 г.
5. А.В. Бакулин, В.И. Коковин. Источники акустической эмиссии при растворении металлов. Защита металлов, № 5, I982 г.
6. А.В. Бакулин. Способ контроля. Авт. свид. № 970209.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ И МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ α -ЛАТУНИ В ПРИСУТСТВИИ РТУТИ

Е.Э.Гликман, В.И.Игошев, А.П.Брагинский

Известно, что многие металлы, применяемые в частности в ядерной энергетике, пластичные при деформировании в обычных условиях, становятся хрупкими при контакте с поверхностно-активными металлическими расплавами /жидко-металлическая хрупкость (ЖМХ) /. В [I] был предложен растворно-осадительный механизм (РОМ) ЖМХ. В рамках этого механизма предполагается, что трещина растет монотонно /без скачков/ за счет растворения в расплаве атомов металла из вершины трещины, где химический потенциал повышен за счет напряжений. Если РОМ справедлив, то рост трещины не должен сопровождаться сигналами акустической эмиссии (АЭ) взрывного типа, характерными для роста трещин по микроскольному или микропластическому механизмам. Для проверки РОМ ЖМХ изучали АЭ при разрушении α -латуни в процессе деформации разрушением в присутствии ртути. Показано, что кинетика роста межзеренных микротрещин длиной до 600 мкм удовлетворительно описывается в рамках РОМ и не сопровождается сигналами АЭ. В частности,обнаружено, что число импульсов N для образцов, покрытых Hg и без Hg /где трещин нет/, в интервале нагрузок, соответствующих докритическому подрастанию трещины, одинаково. Сигналы АЭ взрывного типа появляются лишь за несколько секунд до разрушения образца, когда длина трещины близка к критической. Электронно-фрактографические наблюдения показали, что возникновение этих сигналов связано с вязким дорывом перемычек, расположенных в основном на ребрах зерен, за фронтом трещины.

Литература:

I. Е.Э.Гликман, Ю.В.Горюнов, В.А.Демин, К.Ю.Сарычев. "Кинетика и механизм разрушения меди при деформации в поверхностно-активных расплавах". Изв. Вузов. Физика, № 5, 1976 г.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АЭ ПРИ АКТИВНО-ПАССИВНОМ ПЕРЕХОДЕ НА АЛЮМИНИИ

А.В. Бакулин, В.И. Попов

Исследована АЭ при переходе ненагруженного металла из активного в пассивное состояние, т.е. при образовании на его поверхности пассивирующей окисной пленки в агрессивной среде. Опыты проводили с использованием аппаратуры АФ II на отожженном 99,99 % алюминии в водных растворах, содержащих активатор $NaOH$ и пассиватор $NaNO_3$. Варьировали соотношение концентраций растворенных веществ $\alpha = [NaNO_3]/[NaOH]$, при этом их суммарная концентрация составляла 2.6 моль/литр. Измерение АЭ производили при установившемся процессе на поверхности металла (через 55–60 минут от начала опыта).

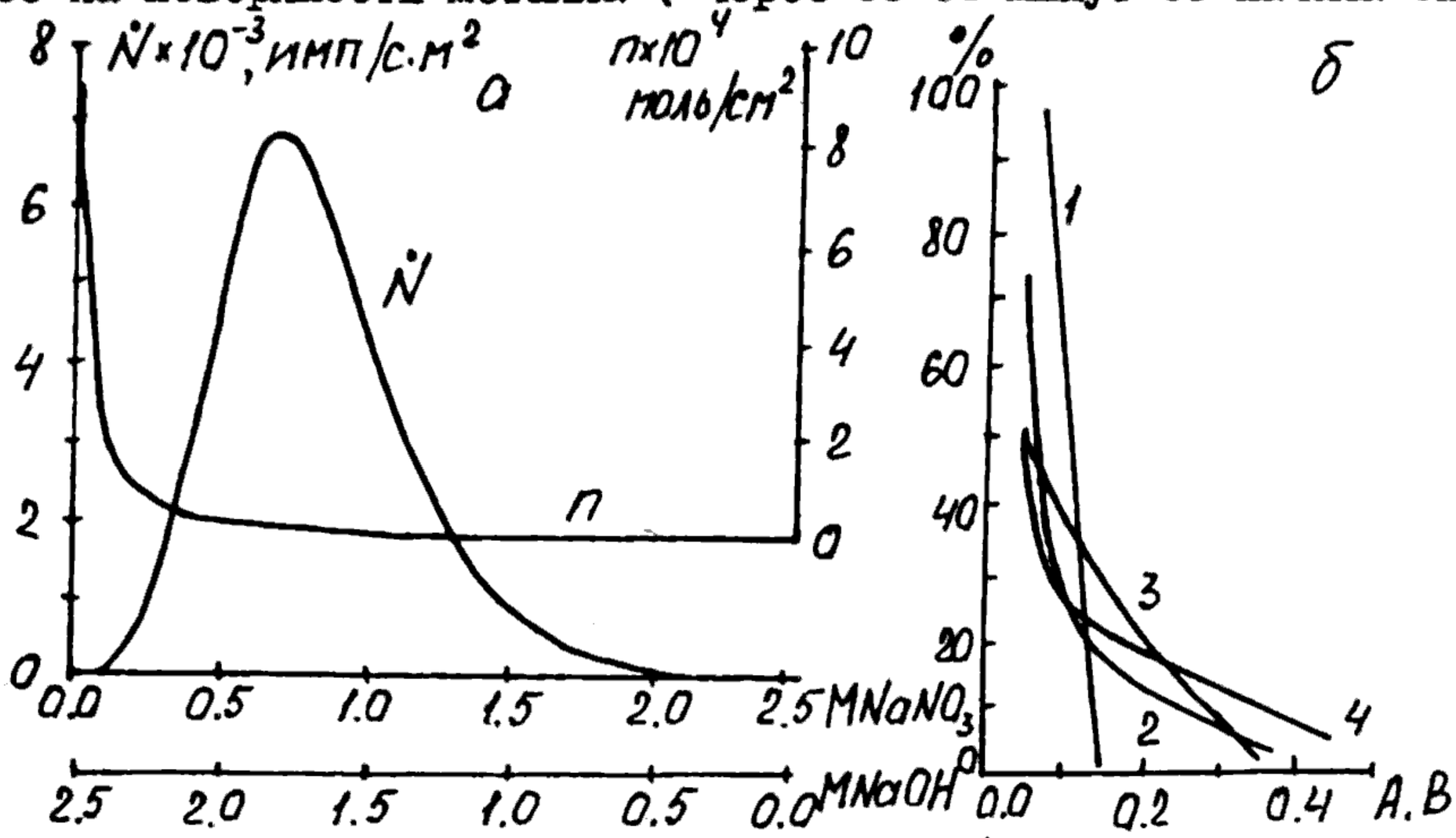


Рис. I. Изменение скорости счета АЭ ($\dot{N}$), скорости газовыделения (n) и амплитудное распределение АЭ для алюминия в растворах с различным α (I – α = 0,I4; 2 – α = 0,47; 3 – α = I,50; 4 – α = II,50).

Полученные данные позволяют связать возникновение АЭ с разрушением пассивной поверхности выделяющимся в ходе химической реакции газообразным водородом, который скапливается в микрополостях (коллекторах) на границе металл-пленка. С увеличением α окисная пленка покрывает все большую часть поверхности и ее качество улучшается. Это приводит к росту $\dot{N}$ при малых α

вследствие увеличения числа „срабатывающих" коллекторов, а затем, после пассивации всей поверхности, к спаду $\dot{N}$ при больших α вследствие снижения потока водорода в коллекторы (рис. Iа). Средняя амплитуда АЭ по мере улучшения качества окисной пленки монотонно возрастает ввиду увеличения средней энергии, выделяющейся при „срабатывании" коллекторов (рис. Iб). Это подтверждается данными, полученными при измерении АЭ непосредственно в процессе разрушения окисных пленок различного качества (рис. 2).

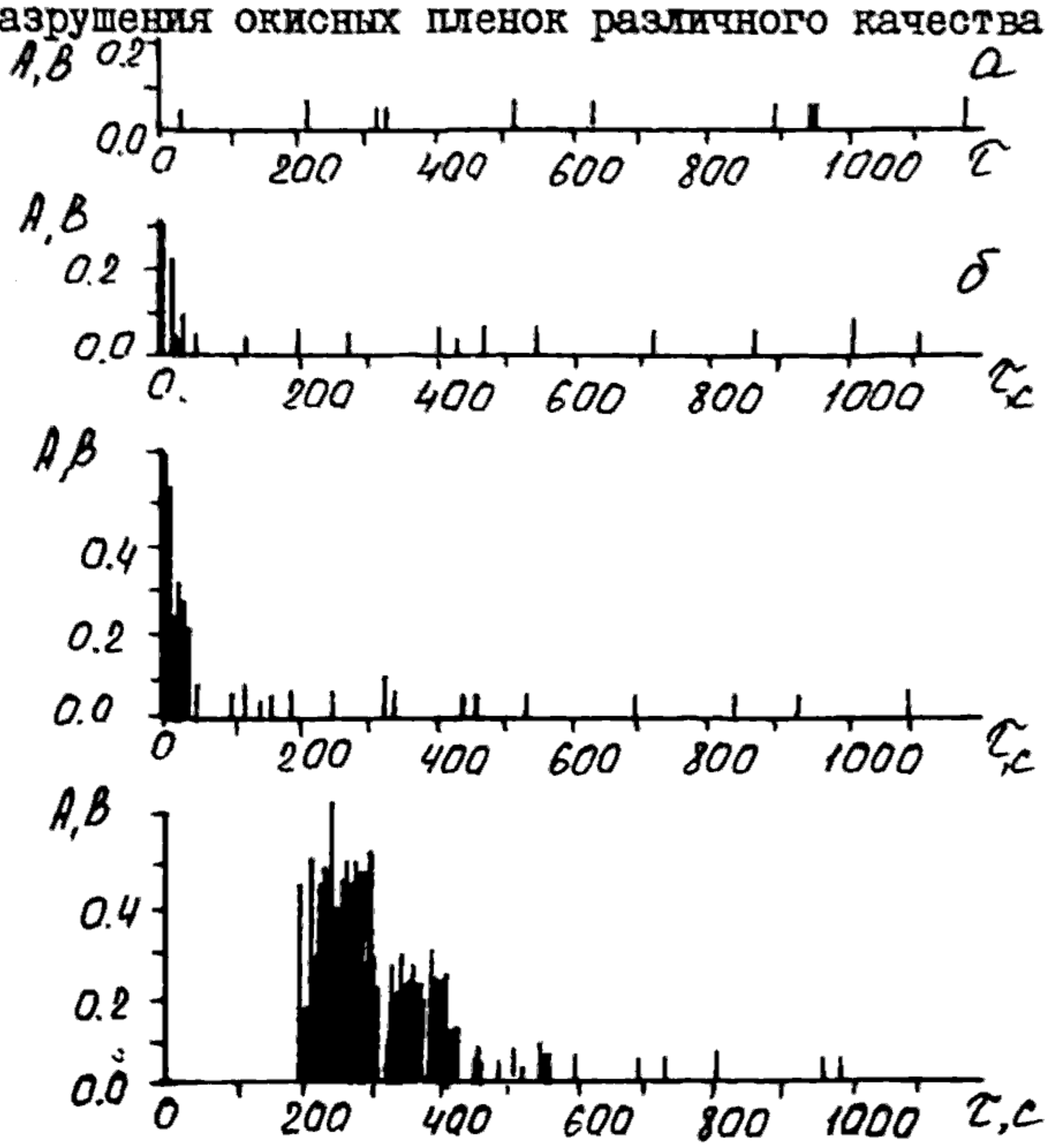


Рис. 2. Диаграммы амплитуды АЭ при воздействии водного раствора 2.5 М $NaOH$ на поверхность алюминия: а - без окисной пленки; б - с воздушной окисной пленкой; в - с уплотненной воздушной окисной пленкой; г - с анодной окисной пленкой.

Таким образом, АЭ при активно-пассивном переходе обусловлена разрушением пассивирующей окисной пленки газообразным водородом, скапливающимся в коллекторах.

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРЕЩИНЫ ПРИ КОРРОЗИОННОМ РАСТРЕСКИВАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Е.В.Несмашный, В.В.Потапов, К.И.Кириллов

Целью работы являлось определение момента страгивания инициированной усталостной трещины в компактном образце, исследование кинетики распространения трещины, а также определение момента ее остановки с помощью метода АЭ.

При исследованиях применялся компактный образец из высокопрочной стали с размерами 95x250x230 мм. После наведения усталостной трещины образец нагружали на испытательной машине и заданную нагрузку фиксировали клином.

Регистрация сигналов АЭ осуществлялась с помощью аппаратуры АФ - 20А. Величина раскрытия трещины определялась с применением тензометрического полумоста, наклеенного на скобу, которая устанавливалась на верней грани образца, и измерителя статических деформаций ИСД - 3. Наблюдение за длиной трещины производилось с использованием стереоскопического микроскопа МБС - 4.

Во время испытаний образец был установлен в ванночку с проточной морской водой, в стенках которой были сделаны окна для наблюдения за длиной трещины. Ежедневно регистрировали величину раскрытия трещины по ИСД - 3, число импульсов АЭ за фиксированный промежуток времени и среднюю длину трещины, определяемую как среднее арифметическое от длин трещины с обеих сторон образца.

От момента установки образца на испытание и до остановки трещины прошло 275 суток. Дискретные сигналы АЭ большой амплитуды стали появляться на 22 день испытаний. Визуально момент страгивания трещины был обнаружен на 50 день. Следует отметить, что максимум интенсивности АЭ опережает по времени максимум скорости роста трещины примерно на 30 - 40 дней, что по сроку примерно совпадает с разницей при определении момента страгивания трещины визуально и с помощью метода АЭ. Это, видимо, и есть время "выхода трещины на поверхность", обусловленное различием напряженного состояния в центре образца и у боковых поверхностей. Торможение трещины сопровождается снижением уровня АЭ, который после остановки трещины практически не отличается от фона.

Таким образом проведенными исследованиями показано, что метод АЭ при испытаниях образцов из материалов больших толщин при-

годен для определения моментов страгивания и остановки трещины, а также для изучения кинетики ее развития.

МАГНИТОУПРУГАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Fe + 3% Si

Э.С.Горкунов, О.А.Бартенев, В.А.Хамитов

Магнитоупругая акустическая эмиссия (МАЭ) относится к магнитострикционному типу явлений и отражает магнитоупругие процессы перестройки доменной структуры во всем объеме перемагничиваемого ферромагнетика. Для изучения взаимосвязи сигналов МАЭ с линейной магнитострикцией и влияния на них кристаллографической анизотропии исследования выполнены на монокристаллах Fe+3% Si в форме диска диаметров 41 мм и полосок (90x8 x0,5 мм^3), вырезанных вдоль кристаллографических направлений [100] , [110] и [111] . Перемагничивание образцов осуществляли переменным магнитным полем частотой 50 Гц.

На рис. I приведены результаты измерения угловой зависимости среднеквадратичных напряжений МАЭ $U_{МАЭ}$ и скачков Баркгаузена $U_{СБ}$ в относительных единицах для диска, находящегося во внешнем магнитном поле H = 80 А/см.

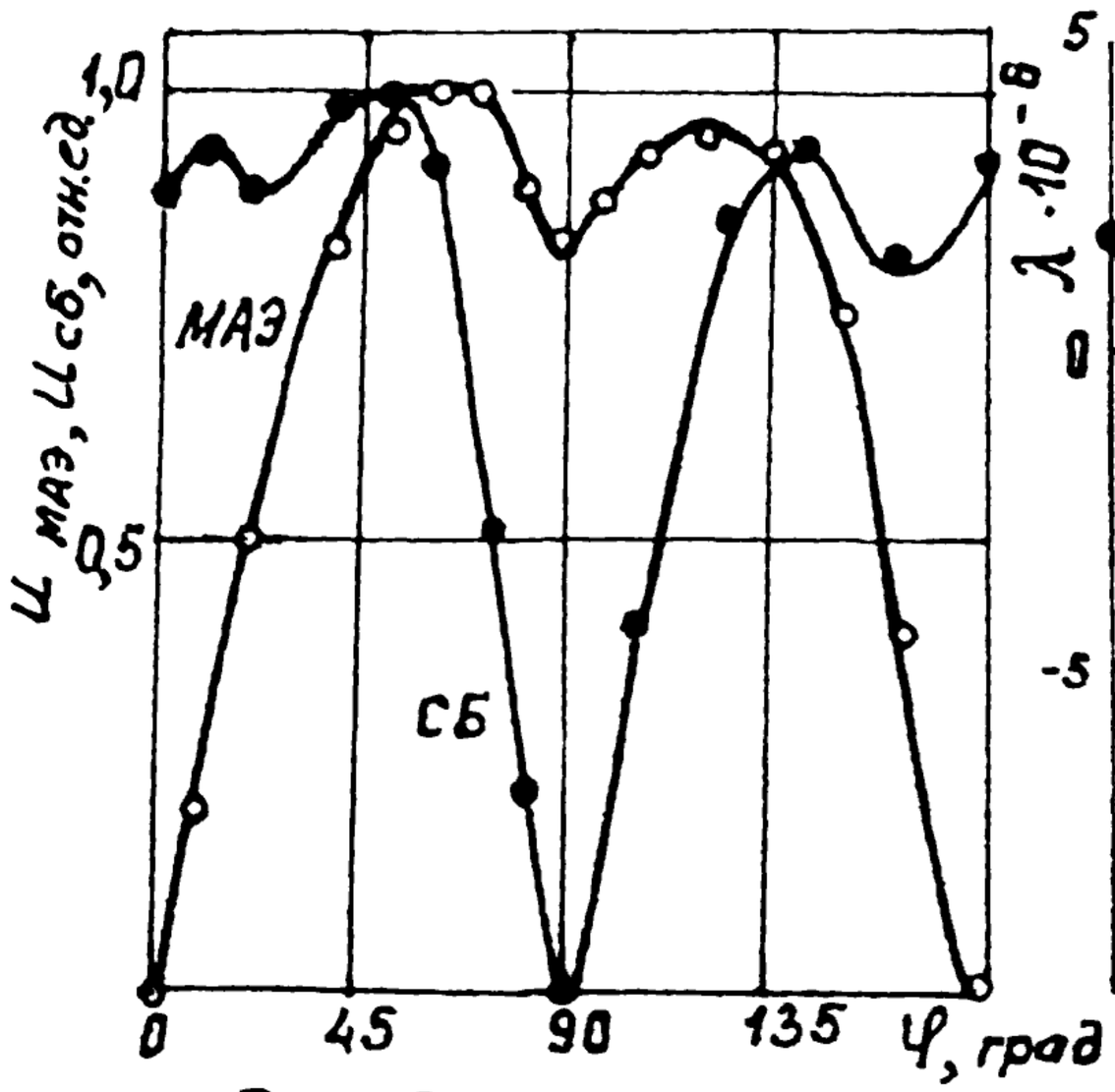


Рис. I.

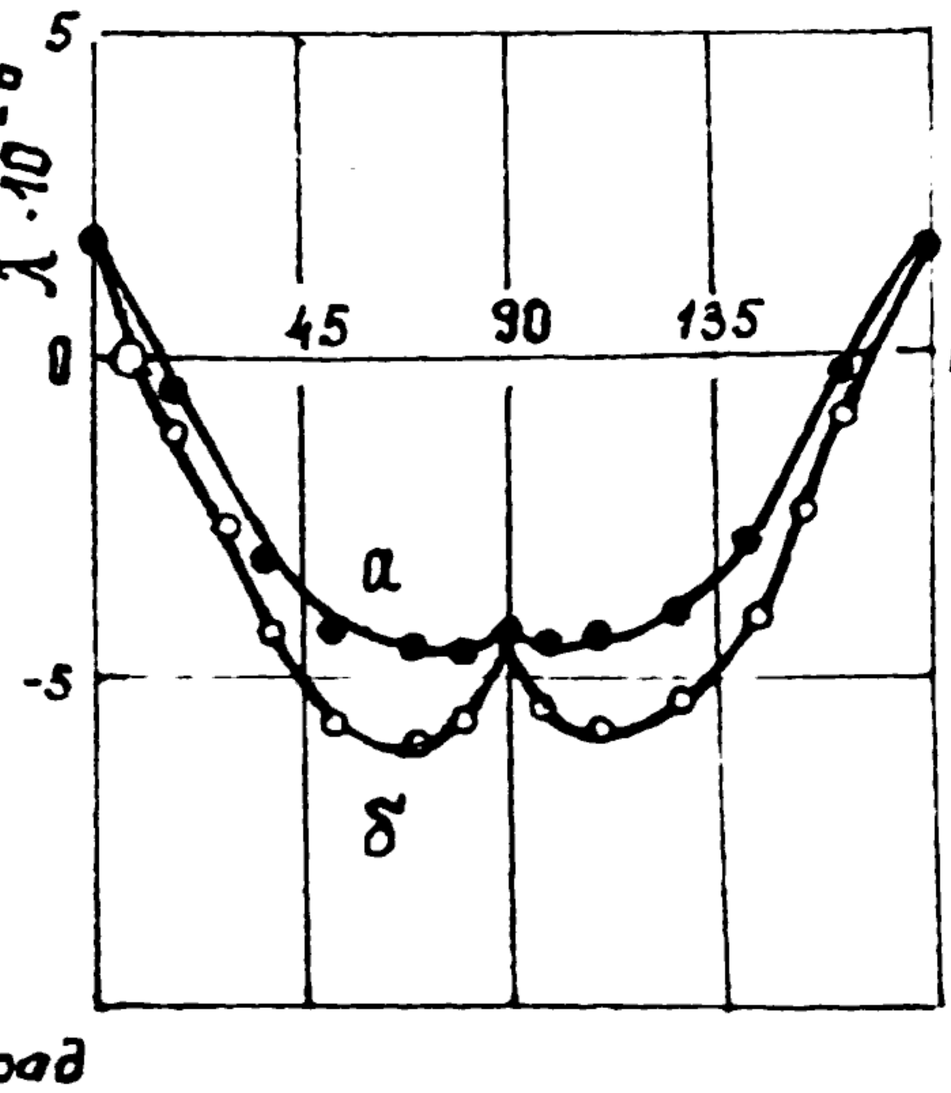


Рис. 2.

Установлено, что магнитострикция λ_φ, полученная путем простых алгебраических сложений кривых линейной магнитострикции λ_{100} и λ_{110} при определенном угле φ ($\lambda_\varphi = \lambda_{100\varphi} + \lambda_{110\varphi}$), имеет характер зависимости λ_φ от φ, близкий к характеру изменения $U_{МАЭ}$ от φ (рис. 2, кривая а). Кривая магнитострикции, определяемая как сумма результирующих проекций λ_{100} и λ_{110} на направления, параллельное и перпендикулярное магнитному полю, при заданном угле поворота кристаллографических направлений диска относительно этого поля, дает более высокое значение коэффициента корреляции с кривыми $U_{МАЭ}$ (рис. 2, кривая б).

Исследования, выполненные на монокристальных полосках, показали, что сигнал МАЭ растет по мере увеличения абсолютных значений λ. Однако количественные соотношения в характере изменения $U_{МАЭ}$ от H и λ от H не соблюдаются, что по всей вероятности связано с влиянием анизотропии формы образцов.

Исследования частотной зависимости $U_{МАЭ}$ и $U_{СВ}$ показали, что $U_{МАЭ}$ линейно растет с ростом частоты, а $U_{СВ}$ нелинейно.

Таким образом, при перемагничивании многоосных ферромагнетиков возникающие сигналы МАЭ зависят от кристаллографических направлений, а их природа связана с перераспределением магнитоупругой энергии во всем кристалле, о чем свидетельствует достаточно высокая корреляция $U_{МАЭ}$ с суммарными значениями магнитострикции. Совместное использование методов регистрации магнитоупругой акустической эмиссии и скачков Баркгаузена позволяет качественно оценить вклад смещений 180° и 90° доменных границ при перемагничивании ферромагнетиков.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АЭ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ МИКРО- И МАКРОРАЗРУШЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Лексовский, К.Б. Вакар, Р.М. Ахунов,
Г.Х. Нарзуллаев, В.Р. Ржевкин, Л.Г. Орлов

Использовались 2-х и 4-х канальная система регистрации сигналов АЭ с ЭВМ на линии, позволяющие определить координаты источников, активность, амплитуду и энергию электрического сигнала, а также методы оптической и растровой электронной микроскопии. Исследовались разнообразные волокнистые композиционные материалы (ВКМ) на основе полимерной и металлических матриц с упрочняющими угольными, стеклянными, органическими, борными волокнами, а также поликристаллические металлы и сплавы. Применялись режимы нагружения с постоянной скоростью деформирования и циклическое растяжение с частотой 0,I - I0 Гц.

На ВКМ изучалась закономерность перехода от рассеянных микроразрывов к катастрафическому макроразрушению материала в целом. Зона будущего очага разрушения формируется в зависимости от условий нагружения, структуры и свойств элементов ВКМ за (I5-5) % от разрывной деформации. Поврежденность в этой зоне ко времени формирования очага разрушения составляет 0,03 - 0,3 %, в то время, как соседние области могут иметь поврежденность на порядок большую. В неопасных сечениях по мере деформирования КМ идет накопление преимущественно по I - I0 разрывов соседних волокон, а в очаге разрушения преобладает нарастающий во времени процесс кооперативных групповых разрывов 30 - I50 соседних волокон одновременно. Макроразрушение наступает при условии, когда мощность освобожденной при разрыве армирующих волокон энергии упругой деформации превысит локальную энергоемкость, диссипативную способность окружающей композитной системы. Показано влияние температуры испытания, адгезионного взаимодействия между волокном и матрицей и др. на локальную энергоемкость КМ.

В случае поликристаллических металлов и сплавов с большим числом источников регистрируемых сигналов показана возможность разделения процессов пластического деформирования - скольжения и образования двойников - образования микротрещин, различающихся по удельной величине мощности сигналов АЭ на 2 - 4 порядка соответственно. Это позволяет в объеме I $мм^3$ отличить образование микротрещины размером в I-3 мкм от образования нескольких двой-

ников.

Показано, что образованию трещины разрушения в зерне не предшествует зарождение в нем системы субмикротрещин. Обнаружено, что энергия сигналов АЭ в предвершинной области усталостной трещины почти на порядок меньше, чем в случае роста трещины в условиях статического растяжения.

Показана возможность по удельной мощности $\dot{W}$ сигналов АЭ определять скорость роста магистральной трещины при статическом и циклическом растяжении как в атмосферных условиях, так и в коррозионной среде.

Для конструкционных материалов с малым числом источников фиксируемых сигналов корреляционная связь скорости разрушения с мощностью сигналов АЭ вырождается. В этом случае активность АЭ может заменить энергетический параметр $\dot{W}$.

Исследование кинетики разрушения направленно закристаллизованных эвтектических сплавов с монокристальными армирующими волокнами с прочностью, близкой к теоретической, а также некоторых керамических материалов показало целесообразность использования мощности $\dot{W}$ как наиболее информативного параметра АЭ в развитии процесса разрушения.

Прямое наблюдение с помощью методов растровой электронной микроскопии и АЭ позволяет заключить, что процесс массового образования микротрещин в начальной стадии деформирования носит аккомодационный характер, способствует перестроению структуры в ходе пластической деформации, а на заключительной стадии нахождения материала под механической нагрузкой образование микротрещин, вследствие взрывообразности их рождения, является решающим дестабилизирующим элементом, приводящим к катастрафическому макроразрушению.

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Е.А.Кулешова, В.А.Куликов, О.В.Гусев, А.Г.Пенкин

Методом акустической эмиссии (АЭ) исследовали деформацию и разрушение композиционных материалов (КМ) на основе состаренного алюминиевого сплава, армированного стальными волокнами, влияние на механизм деформации объемной доли волокон и состояния границ раздела матрица-волокно. Полученные результаты сравнивали с результатами испытаний термообработанного и нетермообработанного алюминиевого сплава, не содержащего волокон.Плоские образцы растягивали вдоль армирования с постоянной скоростью деформации $\dot{\varepsilon} = 7.10^{-5} c^{-1}$. Одновременно фиксировали интенсивность АЭ, число импульсов в единицу времени и их амплитудное распределение. Полученные результаты сопоставляли с кривыми течения КМ, металлографическими наблюдениями и рентгеноструктурными исследованиями. На основе расчета энергии импульсов был проведен амплитудный анализ, позволивший выделить основные типы импульсов АЭ и установить их источники.

Импульсы самых малых амплитуд и энергий, источником которых являются дислокационные процессы, наблюдаются на всех стадиях деформации алюминиевых сплавов, но их интенсивность на разных стадиях деформации в значительной степени зависит от микроструктуры этих сплавов. Введение в сплав стальных волокон приводит к ограничению пластической деформации матрицы,и это ограничение, как показала АЭ, зависит от величины объемной доли волокон. Достижение предела текучести, локализация деформации, образование шейки сопровождается появлением импульсов второго типа, имеющих энергию на четыре порядка большую, чем энергия импульсов, отвечающих за дислокационные процессы. Импульсы еще более высоких амплитуд, связанные с образованием трещин, наблюдали у алюминиевых сплавов после образования шейки незадолго до начала разрушения, в то время, как в КМ импульсы этого типа появляются сразу после начала шейкообразования на волокнах, что свидетельствует об отслоении волокон от матрицы.

При высоких температурах на межфазных границах матрица-волокно в КМ образуются хрупкие интерметаллидные соединения типа Fe_nAl_m наличие которых изменяет прочностные характеристики композиций.

В работе с помощью АЭ исследовали механизм деформации и разрушения КМ с однофазной и двуфазной интерметаллидной прослойками на межфазных границах, а также с интерметаллидными соединениями

в виде "островков". Импульсы самых низких энергий наблюдали на всех стадиях деформации КМ, но распределение их интенсивности зависело от состояния межфазных границ. Показано, что в КМ с интерметаллидными соединениями на межфазных границах активность дислокационных процессов резко возрастает с началом пластической деформации матрицы, причем число малоамплитудных импульсов, отвечающих за эти процессы, на несколько порядков превышает число импульсов в КМ без интерметаллидных соединений и возрастает с увеличением степени дефектности межфазных границ. Прохождение полос Людерса-Чернова и деформационных полос дает импульсы второго типа. Их появление в КМ с интерметаллидами на межфазных границах и без интерметаллидов имеет место на одних и тех же стадиях деформации, но активность таких импульсов возрастает с ростом объемной доли интерметаллидных соединений. Начало и развитие отслоения матрицы от волокон, накопление макродефектов и разрушение КМ в целом сопровождалось импульсами третьего типа, обладающими еще более высокими энергиями. При испытании КМ с интерметаллидами на межфазных границах появлялись импульсы АЭ четвертого типа с максимально высокими энергиями и амплитудами, которые авторы связали с процессом разрушения интерметаллидных прослоек. Начало появления наиболее высокоамплитудных импульсов, их число и интенсивность также зависели от степени дефектности межфазных границ.

Таким образом, метод АЭ совместно с другими методами исследования позволил установить основные процессы, происходящие в КМ при его деформации и разрушении и показать их зависимость от состояния межфазных границ матрица-волокно.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Стрижало, С.И. Лихацкий, Ю.В. Добровольский, М.П. Земцов

Одним из неразрушающих методов контроля материалов в процессе их испытания является метод акустической эмиссии (АЭ), который позволяет контролировать процесс накопления структурных повреждений.

Основная задача настоящего исследования состояла в изучении возможности использования и разработке методики применимости явления акустической эмиссии для установления взаимосвязи между характерными стадиями процесса деформирования композиционных материалов (КМ) и характеристиками акустического сигнала (АС). Работа проводилась с использованием аппаратуры, разработанной в Институте проблем прочности АН УССР.

Аппаратура для приема и обработки информации состоит из широкополосного приемника АС, предусилителя и усилителя с частотным диапазоном 0,03 ... 5 МГц, широкополосного фильтра с регулируемой частотой пропускания, блока обработки. АС можно наблюдать на экране осциллографа, а также записывать на видеомагнитофоне. В состав аппаратуры входит анализатор амплитудно-частотного спектра сигналов АЭ СА-30 и амплитудный анализатор АИ-I28. Регистрация механических и акустических характеристик осуществлялась с помощью светолучевого осциллографа Н.043 в единых временных координатах.

В работе представлены результаты испытаний армированных бороластиком элементов конструкций и углепластиковых слоистых пластин, армированных волокнами, уложенными под разными углами друг к другу. С целью изучения процесса формирования разрушения испытывались как отдельные компоненты, составляющие композит, так и сами композиционные материалы, а также натурные конструкционные элементы.

При испытаниях алюминиевых элементов конструкций, армированных бороластиком, установлено, что основной вклад в формирование сигналов АЭ вносит разрушение волокон бора, которые являются основными элементами армированной конструкции,

определяющими ее прочность. Алюминий и эпоксидная матрица при деформировании и разрушении конструкции незначительно влияет на сигналы АЭ. На диаграммах АЭ начало интенсивного роста сигналов соответствует инкубационной стадии формирования разрушений в испытуемом элементе, соответствующей началу разрушения волокон бора. При этом, каждому виду разрушения: сдвигу жгута относительно трубки, сдвигу и расслоению матрицы, разрыву волокон соответствует свой характер акустического сигнала.

Испытания углепластиковых конструкционных элементов показали, что характер распределения сигналов АЭ существенно зависит от схемы армирования и направления приложения нагрузки. Проведенные исследования позволили установить, что по изменению характеристик акустического сигнала представляется возможным прогнозировать предразрушающее состояние конструкций из композиционных материалов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ С ДИНАМИКОЙ РАЗРУШЕНИЯ СЛОИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

М.Б.Милешкин, М.И.Палатник, И.В.Библик,Е.И.Музыка

Важную роль при создании прогрессивных конструкций в различных областях техники играют слоистые металлические материалы. Для анализа особенностей их механического поведения целесообразно использование метода АЭ как с точки зрения исследования процессов деформации и разрушения, так и для разработки методики технической диагностики.

Настоящая работа посвящена анализу связи особенностей разрушения слоистых металлических материалов с параметрами АЭ. Эти исследования являются продолжением ранее проведенных металлографических исследований кинетики разрушения слоистых материалов и анализируются во взаимосвязи с ними.

Нагружение образцов проводилось на установке ИМАШ 5С-69 "Киргизстан". Регистрация сигналов АЭ проводилась прибором М300 по трем уровням амплитудной дискриминации.

При приложении нагрузки вдоль поверхности раздела в слоистых материалах могут происходить различные виды разрушения, которые зависят от соотношения деформационно-прочностных свойств и объемной доли слоев.

Рассмотрим наиболее характерные результаты испытаний биметаллических образцов (сталь Ст3 + I2XI8HI0T, сталь Ст 3 + медь МI, сталь 45 +медь М3 и др.).

I. Предельные деформации слоев примерно одинаковы и достаточно велики.

В этом случае разрушение слоистого образца с высокой прочностью поверхности раздела мало отличается от разрушения гомогенного образца. Регистрация параметров АЭ показала, что выделить начало образования субмикротрещин пока невозможно. АЭ увеличивается с увеличением скорости деформации, что свидетельствует о связи АЭ с дислокационными процессами.

В случае значительной концентрации напряжений от структурных и геометрических факторов (например, волнообразность поверхности раздела при сварке взрывом) и невысокой прочности поверхности раздела в зоне соединения могут возникать микро и макротрещины - расслоения. Установлено, что такие трещины являются источниками заметной АЭ лишь при скорости роста не менее 200 мкм/с.

2. Предельная деформация одного слоя намного ниже предельной деформации другого.

В этом случае полное разрушение образца может происходить или сразу после разрушения хрупкого слоя (единичное разрушение), или после накопления в хрупком слое некоторого количества трещин (множественное разрушение). Наибольший интерес вызывает исследование множественного разрушения. Такое разрушение наиболее ярко проявляется при нагружении образцов с хрупким поверхностным слоем. Так, при деформировании нормализованных образцов стали 45 с закаленным поверхностным слоем (лазерная закалка, HRC=64, глубина закалки $\approx$ 100мкм) диаграмма АЭ вначале характерна для нормализованного состояния. Однако в момент начала разрушения поверхностного слоя происходит резкий всплеск активности АЭ по всем амплитудным уровням, при этом доля высокоамплитудных импульсов резко возрастает (максимальный уровень дискриминации составлял 300 мкВ). Всплески АЭ продолжаются в течение всего времени множественного растрескивания закаленного слоя, при этом количество трещин точно совпадает с количеством пиков АЭ.

Подобный характер АЭ наблюдается и при задержанном разрушении высокопрочных слоев. Следует отметить, что при нагружении образцов акустическая эмиссия, связанная с дислокационными процессами, прекращается практически сразу при переходе к режиму постоянной нагрузки. Если же в материале (например, в слое закаленной стали 45) при этой нагрузке начинает развиваться задержанное разрушение, то активность АЭ скачкообразно увеличивается вплоть до полного разрушения этого слоя.

Зависимость параметров АЭ от особенностей разрушения материала позволяет эффективно использовать метод и для оценки некоторых свойств хрупких покрытий. В этом случае регистрация АЭ проводилась при внедрении индентора в поверхностный слой электротехнического железа марки ЭА после химического никелирования (толщина покрытия изменялась от 3 до 40 мкм). Структура и свойства покрытий варьировались условиями осаждения и последующей технической обработки.

Анализ результатов испытаний показал, что основным и определяющим источником АЭ является микрорастрескивание (кольцевое и радиальное) покрытия в зоне отпечатка. Оказалось, что параметры АЭ, отражающие динамику разрушения покрытий, однозначно связаны с его толщиной и структурным состоянием.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ХРУПКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

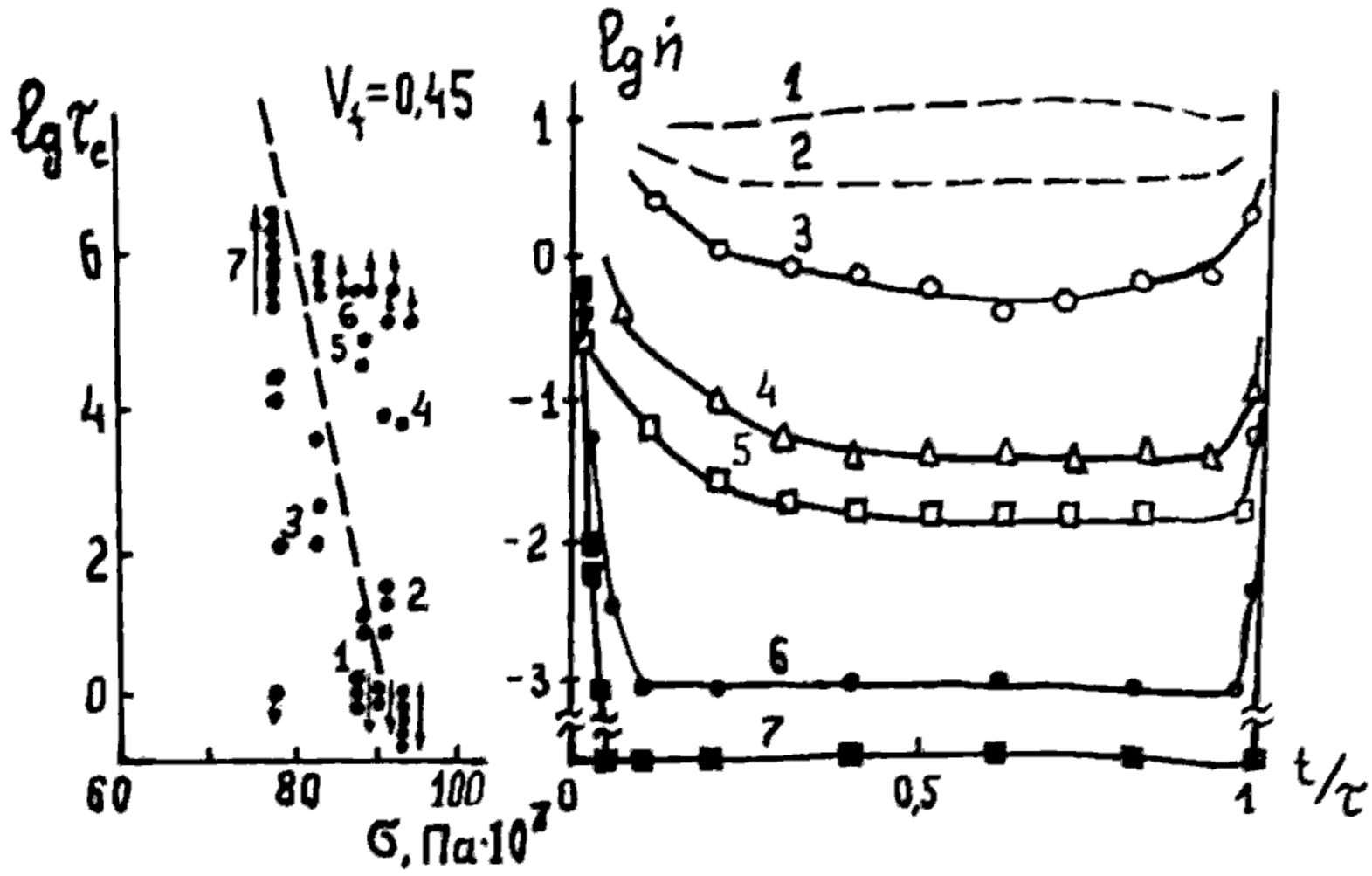
В.В. Трофимов, П.В.Половников

В настоящее время все более эффективно используются методы оценки долговечности изделий по $\dot{n}$ - активности АЭ. Особенно важной представляется задача предотвращения неожиданного разрушения конструкций из хрупких композиционных материалов, характеризующихся значительным разбросом прочностных свойств. При этом плодотворным является подход к процессам деформирования и разрушения с позиций кинетической теории прочности.

Исследованы временные зависимости прочности и связь между долговечностью τ под постоянной нагрузкой и активностью АЭ $\dot{n}$ для однонаправленного волокнистого композита алюминий-бор и бетонов различного состава при комнатной и повышенных температурах.

Плоские образцы ВКМ с различным содержанием волокон с сечением 4xI мм^2 испытывали на растяжение в продольном направлении в машине рычажного типа, позволяющей сохранить нагрузку постоянной. Призматические образцы из бетонов испытывали на изгиб сосредоточенной силой. Фиксировали время от момента приложения постоянной нагрузки до момента разрушения образца при непрерывной регистрации импульсов АЭ. Использовали прибор АФ-IO, подсчитывали частоту появления сигналов АЭ $\dot{n}$ без учета интенсивности отдельных импульсов. Чувствительность прибора выбрана так, чтобы фиксировать только разрывы волокон в ВКМ и возникновение и рост микротрещин в бетоне.

На рисунке приведена типичная зависимость долговечности τ от напряжения σ для ВКМ. Крутизна прямой $\lg\tau = f(\sigma)$ и относительно малое количество образцов, разрушившихся за конечное время, характерны для хрупких тел, и объясняются возникновением при приложении нагрузки высоких локальных перенапряжений, которые релаксируют в процессе испытания под постоянной нагрузкой, причем время релаксации больше или равно времени до разрушения. Отметим, что при уменьшении нагрузки лишь на I5% долговечность образцов увеличивается от значения $\tau < I$ с до $\tau > IO^6$ С. Соответствующие испытанным на долговечность образцам зависимости величины $\lg\dot{n}$ от времени в долях от долговечности представлены на рисунке.



Для образцов с конечным временем жизни характерны участки с замедляющейся сразу после нагружения и резко ускоряющейся перед окончательным разрушением величиной $lg\dot{n}$. Для неразрушившихся образцов после резкого уменьшения $\dot{n}$ импульсы АЭ не отмечаются в течение всего последующего времени наблюдения $\tau = 10^6$ с.

Однозначная связь $lg\dot{n} = f(t/\tau)$ позволяет прогнозировать долговечность изделий при выбранной эксплуатационной нагрузке и проводить обоснованное снижение запаса прочности путем предварительных испытаний изделий.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОМЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ АМОРФНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АЭ

Б.Л. Баскин, А.М. Лексовский, В.Р. Ржевкин, К.Б. Вакар

Методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и АЭ с использованием 2-х канальной системы регистрации, связанной с ЭВМ, проводилось изучение кинетики развития микроразрушения и перехода к макроразрушению в образцах с надрезом на основе аморфного сшитого полимера эпоксидной смолы АД-20. Производилось активное нагружение образцов с постоянной скоростью деформирования в испытательной машине с одновременной регистрацией АЭ, а также нагружение образцов непосредственно в камере РЭМ в режиме ползучести.

Прямое наблюдение с помощью РЭМ [I] показало, что на определенной стадии развития пластической деформации процесс стационарного роста магистральной трещины начинает сопровождаться появлением в ее пластической зоне микротрещин. Эксперимент показывает взрывообразный характер их зарождения, связанный с релаксацией упругозапасенной энергии, накопленной в локальных объемах образца. Выделение упругозапасенной энергии при рождении микротрещин и связанное с ним перераспределение напряжений в охрупченном объеме пластической зоны приводят со временем к увеличению как размера появляющихся микротрещин ℓ_0, так и частоты их появления f (рис.1), что и является, в конечном счете, основным дестабилизирующим фактором, переводящим разрушение на катастрофическую стадию.

Скачкообразный рост (раскрытие) микротрещин, происходящий в охрупченном полимере, является источником АЭ [2]. Однако, наличие сильного затухания сигналов АЭ при распространении в полимере приводит к резкому уменьшению числа регистрируемых от возникновения микротрещин сигналов. На рис.2 приведен пример обработки сигналов АЭ на ЭВМ HP-9830 в виде распределений интенсивности $\dot{N}$ сигналов АЭ и их мощности $\dot{W}$ в плоскости время испытания до разрушения - разность времен прихода сигналов (длина образца). Можно видеть, что переходу разрушения на катастрофическую стадию предшествует выделение больших значений $\dot{W}$, что может быть связано с рождением более крупных трещин к концу жизни образца. В то же время - рождение крупного дефекта - трещины задолго до разрушения (большое значение выделевшейся мощности $\dot{W}$) не приводит к разрушению образца, вследствие способности окружающих объемов к диссипации энергии, связан-

ной с рождением трещины. Использование АЭ позволяет изучать кинетику разрушения полимера и подтверждает наблюдаемую в прямых опытах методом РЭМ картину развития разрушения.

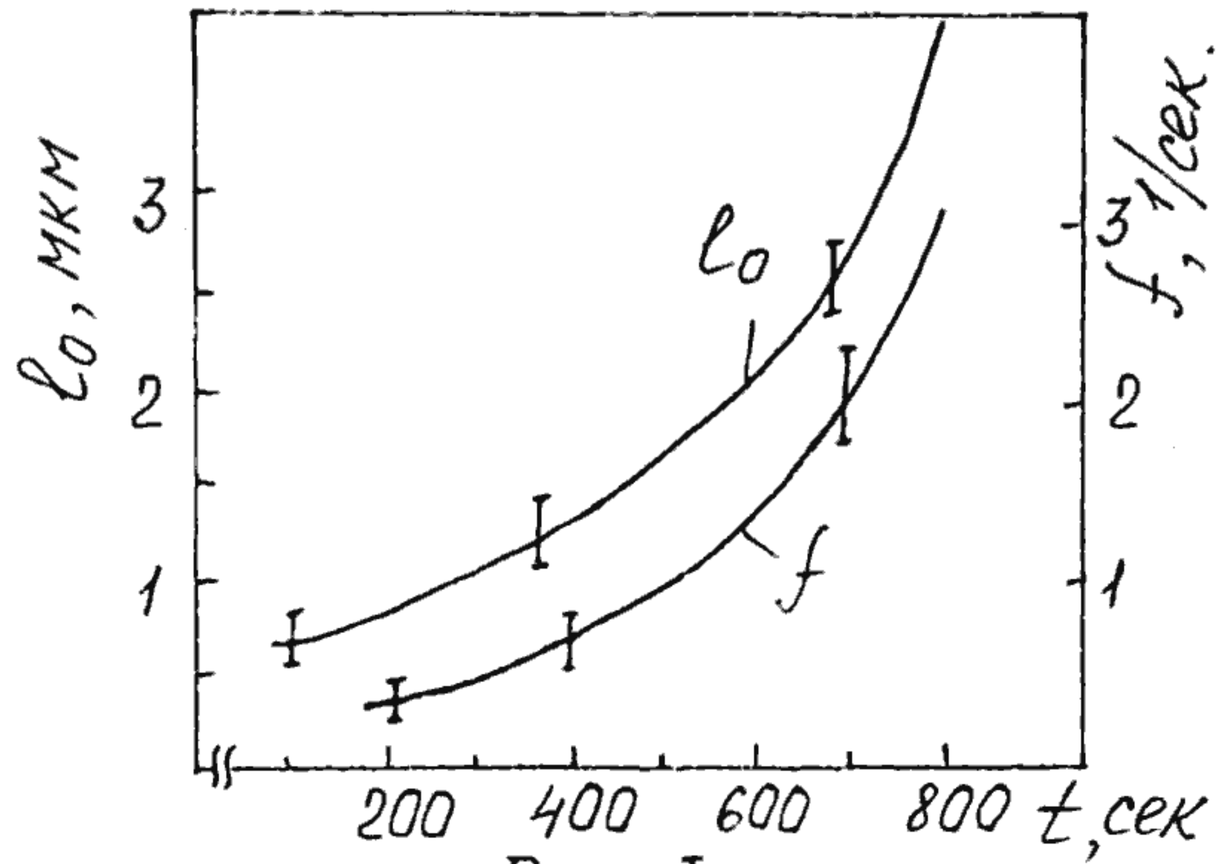


Рис. I

Изменение со временем размера l_0 и частоты появления f микротрещин, возникающих перед вершиной магистральной трещины.

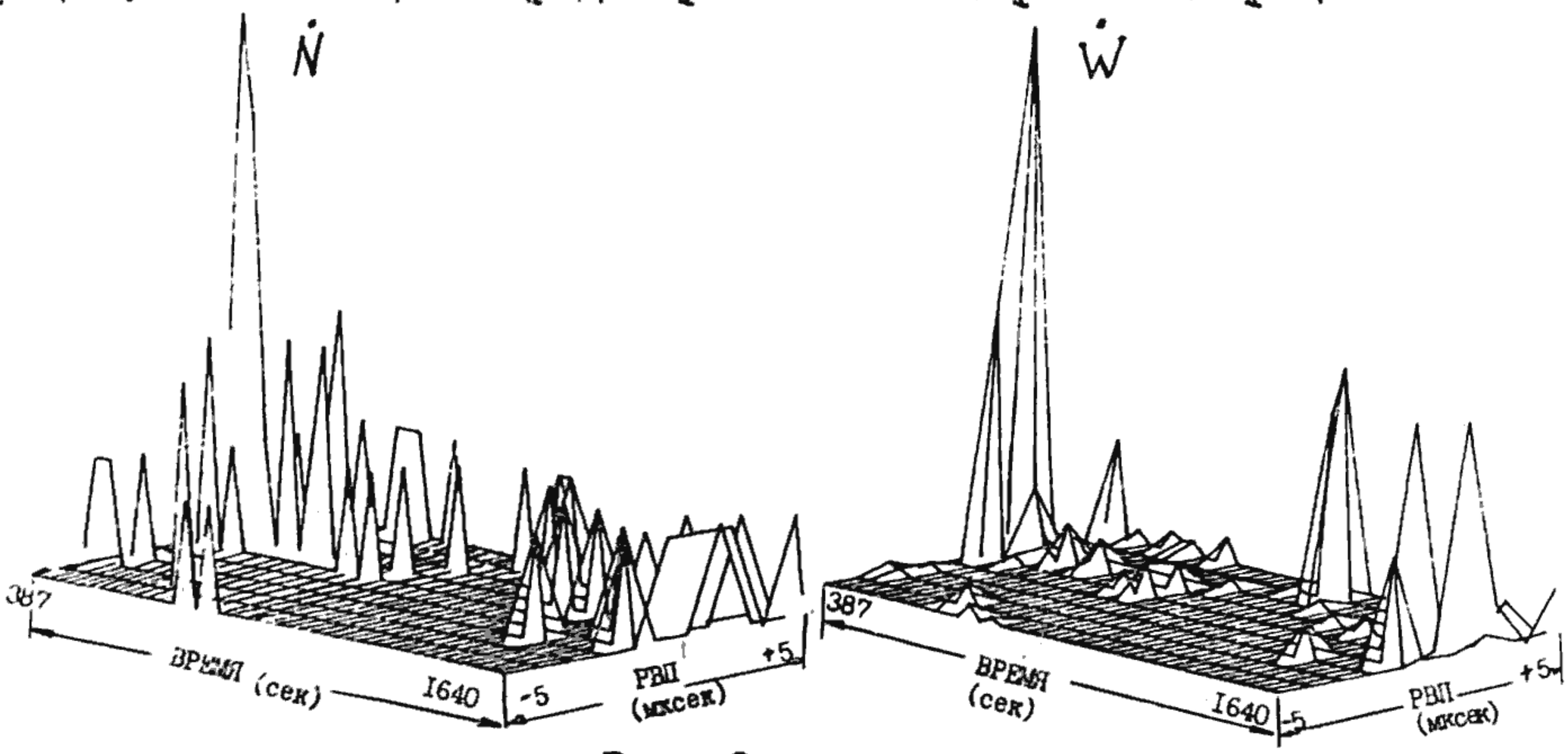


Рис. 2

Изменение интенсивности $\dot{N}$ мощности $\dot{W}$ сигналов АЭ при разрушении образцов из эпоксидной смолы.

Литература.

I. А.М.Лексовский, Б.Д.Баскин, А.Я.Горенберг и др. Исследование развития микротрещин в полимерах методом РЭМ *in situ* Физика твердого тела, I983, 25, вып.4, с.I096-II02

2. А.Петерлин Акустическая эмиссия при растяжении полимеров. В сб. Новейшие инструментальные методы исследования структуры полимеров. Пер. с англ. под ред.Н.А.Плате, М., "Мир", I982, с.2I-30

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДА АЭ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.С.Гузь

На основании литературных данных и соботвенных исследований автора дается анализ современного состояния метода АЭ для контроля качества изделий из полимерных композиционных материалов.

В этой области накоплен небольшой опыт и опубликовано немного данных, но они позволяют сформулировать три группы проблем , сдерживающих развитие метода и нуждающихся в разработке:

I. связь АЭ с дефектностью материала и установление их информативных признаков;

2. определение взаимосвязи АЭ с процессами, протекающими в материале при различных уровнях нагружения;

3. связь параметров АЭ с разрушающими напряжениями и разработка методики прогнозирования прочности.

Другая группа проблем, значимость которых будет возрастать по мере развития метода - это разработка бесконтактного приема АЭ Обсуждая перспективы развития метода с учетом недостатков существующих подходов и имеющихся трудностей, можно утверждать, что в ближайшие годы он найдет реализацию прежде всего в таких важных вопросах как оценка трещиностойкости и адгезионной прочности, а также для определения равнопрочности изделий и кратковременной прочности.

Особенно эффективным представляется развитие метода в сочетании с другими (тензометрическим, поляризационно-оптическим, голографическим), позволяющими контролировать напряженно-деформированное состояние исследуемых объектов.

При установлении связи сигналов АЭ с процессами, протекающими в материале, АЭ можно использовать как надежный метод физических исследований.

Эти и другие направления подробно обсуждаются в докладе.

В заключение формулируются основные требования к аппаратуре и методике оценки качества изделий из композиционных материалов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АЭ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРЕШИНОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИСННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.С.Гузь, В.Н.Наумец, В.В.Булах,
А.Т.Никифоров, И.Р.Рудман

Коррозионно-стойкие стеклопластики (КССП), обладая высокими эксплуатационными свойствами, занимают важное место среди конструкционных материалов. Изделия из КССП, как правило, проектируются в виде слоистых структур, защитные (контактирующие с активной средой) слои которых выполняются из слабо армированных (10%) химстойких термореактивных смол, а конструкционные - из высоконаполненных (до 85%), но не обязательно химстойких смол. Потеря работоспособности таких изделий наступает в результате разгерметизации защитного слоя за счет образования микро- и макротрещин. В этой связи для выбора материала и на стадии расчета конструктивных элементов важно иметь информацию о трещиностойкости КССП.

Ранее было показано, что методы определения трещиностойкости, разработанные для гомогенных материалов, применимы для качественного и количественного сопоставления дискретно армированных композиционных материалов /1/. Развивая эту точку зрения, настоящая работа рассматривает трещиностойкость КССП в исходном состоянии и после воздействия агрессивной среды.

Определение трещиностойкости производилось с использованием метода АЭ (специально разработанные методика и аппаратура подробно представлены в докладе). Сравнительные характеристики трещиностойкости КССП для различных структур в исходном состоянии приведены в таблице 1:

Таблица 1

материалы или армирующие компоненты	степень армирования %	температура полимеризации образца, °С	K_Q кг/мм$^{3/2}$
МБ	30	20	25,20
МБ	30	80	23,60
МБ + ЛВВ - СП	30, 10	80	22,58
МБ + лавсановый мат	30, 10	80	16,12
Прессматериал	30	80	15,50
ЛВВ - СП	10	20	6,80
ЛВВ - СП	10	80	6,33
Лавсановый мат	10	80	4,06
Смола ПН-15	0	80	2,46

Полученные результаты показывают, что трещиностойкоств композитов снижается:

- при замене армирующей компоненты ЛВВ-СП на менее прочный лавсановый мат;

- при введении в армированный стекловолокном(МБ) композит инертного наполнителя - каолина (в прессматериале);

- при отверждении композита при повышениих температурах, вызывающих повышение усадочных напряжений.

Для оценки трещиностойкости композиций необходимо знать не только сопротивление материалов развитию трещины (K_Q), но и условия ее зарождения (K_f).

Считая, что в процессе нагружения образца с надрезом зона предразрушения проходит весь путь разрушения от зарождения субмикротрещин до макротрещины и что сигналы АЭ объективно отображают кинетику процесса разрушения, проводилась фиксация на диаграмме "нагрузка - раскрытие берегов трещины" не только момента страгивания трещины-надреза для определения K_Q, но и фиксирование момента появления первых микросигналов, возникающих в результате зарождения субмикротрещин в КССП,для расчета K_f - коэффициента интенсивности напряжений в момент возникновения первых сигналов АЭ и рассматривали K_f как величину, характеризующую стойкость КССП к зарождению в них трещин. При установлении на диаграмме момента возникновения первого сигнала АЭ определяли податливость образца (С) и скорость ее изменения в зависимости от длины трещины-надреза ($\frac{dc}{dl}$). По экспериментально найденному значению $\frac{dc}{dl}$ определяли градуировочную постоянную клиновидного образца (m). Величину K_f определяли : $K_f = \frac{P_f}{B}\sqrt{4m_f}$, $4m_f = \frac{EB}{2}\cdot\frac{V_f}{P_f l}$,

где P_f - нагрузка в момент появления сигнала АЭ, V_f - раскрытие берегов трещины, B - толщина образца, Е - модуль упругости.

Значения К для некоторых композиций даны в таблице 2.

Таблица 2

композиция	ПН-I5	ЛВВ-СП	МБ
K_f , кг/мм$^{3/2}$	I,9	I,22	0,84

Полученные результаты показывают, что в более дефектной матрице трещинообразование наступает при меньшем уровне напряжений.

Литература:

I.В.Н.Наумец, Л.Т.Бережницкий, Пластич.массы, №I2, I983 г.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ИЗ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ

Б.И.Воронэнко, Е.П.Москвичев

Одним из обильных источников акустической эмиссии (АЭ) при термической обработке материалов являются полиморфные превращения, особенно бездиффузионные переходы мартенситного типа, ответственные за упрочнение при закалке. В связи с этим в последние годы во многих странах развернулись интенсивные исследования физических аспектов АЭ, сопровождающей фазовые и структурные превращения. Соответственно, эффект АЭ явился новым мощным высокочувствительным инструментом при изучении тонких структурно-кинетических особенностей (механизма, динамики и энергетических параметров) физико-химических процессов в твердых и даже жидких телах.

Явление АЭ может быть успешно использовано для исследования инкубационного периода и начальных стадий образования мартенсита(М) в аустенитной матрице (измерение скорости зарождения и роста его кристаллов), определения мартенситных точек, морфологии и количеств М, неоднородности сдвиговой деформации при превращении, природы автокаталитичности и самоторможения мартенситной реакции и т.д.

Было показано, в частности, что амплитуда сигналов АЭ при мартенситном превращении (МП) является мерой кооперативности механизма его протекания. Методом АЭ подтверждена принципиальная разница в механизмах атермического и изотермического МП, и энергетические параметры эмиссии явились критерием при классификации переходов аустенита в М по типу кинетики. При атермическом МП возникают два типа акустического излучения, один из которых связан с выходом мартенситных кристаллов на поверхность, а другой - с остановкой их препятствиями. Отмечена корреляция между твердосью сплавов и числом импульсов АЭ при МП. Излучение звука в значительной степени зависит от состояния и условий охлаждения материала, но хорошо воспроизводится для конкретного режима термической обработки.

АЭ, вызванная термоупругим МП в цветных сплавах, пропорциональна скорости изменения температуры; при нагреве она на один-два порядка выше, чем при охлаждении. Обнаружены эффекты АЭ выше мартенситных точек, свидетельствующие о протекании подготовительных процессов в предмартенситном состоянии. В то же время существует заметная разница в форме мартенситных кривых, получаемых акустико-эмиссионным и термомагнитным методами, причины которой пока не ясны.

АЭ наблюдается и при диффузионных превращениях, если при этом происходит изменение напряженного состояния материала. Например, старение М при комнатной температуре сопровождается излучением звука, обусловленным изотермическим МП, процессами скольжения и двойникования и образованием микротрещин. Интенсивная акусто-эмиссия в процессе отпуска закаленных сталей связана с распадом остаточного аустенита, обособлением карбидных частиц и соответствующим изменением напряжений второго рода. При промежуточном превращении аустенита АЭ характеризует кинетику образования верхнего и нижнего бейнита.

В некоторых легкоплавких металлах и сплавах акустические сигналы возникают при плавлении и затвердевании. В этих случаях метод АЭ пригоден для определения температур ликвидуса и солидуса, эвтектических горизонталей и линий ограниченной растворимости в твердом состоянии; с его помощью могут быть получены данные о формировании макро- и микросегрегаций в кристаллизующихся жидкостях. В связи с обнаружением звукового излучения из жидкой фазы предложена теория образования зародышей кристаллизации выше температуры ликвидуса. Поскольку изменение условий охлаждения заметно влияет на параметры такой эмиссии, она может быть использована для исследования механизма затвердевания сплавов и для предотвращения возникновения литейных дефектов при их кристаллизации.

АЭ сопровождает также фазовые превращения типа порядок-беспорядок, электрохимические и коррозионные процессы, некоторые химические реакции, электрические и магнитные переходы в веществе. Этот метод успешно используется для изучения термической усталости при термоциклировании и тепловых ударах, адсорбции водорода и флокенообразования, а также трения, износа, ионно-лучевой эрозии и т.п.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛАХ И КРИОКРИСТАЛЛАХ

Парфенов О.Е.,Скок В.Ф., Сухопаров В.А., Чернышов А.А.

В настоящее время надежно установленным источником акустической эмиссии (АЭ) в твердом теле, наряду с другими явлениями, следует считать структурные фазовые превращения. Механизм возникновения АЭ в этом случае связан с движением межфазной границы, но до конца не выяснен. До последнего времени исследования в этом направлении проводились только на сплавах металлов в зависимости от температуры. Изучение АЭ при превращениях в более широком классе веществ, а также использование наряду с температурой другого термодинамического параметра-давления, может позволить глубже понять природу этого явления. Вместе с тем, АЭ является удобным методом для построения структурных фазовых диаграмм и исследования кинетики превращения в твердом теле. В данной работе представлены результаты исследования АЭ при низкотемпературных фазовых превращениях мартенситного типа в простых металлах (Li и Na) и кристаллах отвердевших газов- криокристаллах (He, N_2, O_2). Регистрировалась мощность эмиссии при изменении температуры или давления. Датчики из керамики ЦТС-19 крепились на внешней стенке камеры высокого давления, в которой находился образец. Определение кристаллической структуры в Li и Na методом нейтронной дифракции, проводимой в ИАЭ им. И.В. Курчатова на ускорителе"Факел", позволяло однозначно связывать фазовые превращения с наблюдаемыми характеристиками АЭ. Эмиссия при СЦК-ГПУ превращении в Li носит ярко выраженный взрывной характер, характеризуется рядом других кинетических характеристик, которые носят черты классического мартенситного превращения. В Na фазовый переход сдвинут в область более низких температур (T=32) и проявляется слабее. В результате исследования щелочных металлов был установлен вид структурных фазовых диаграмм для Li в области давлений до 20 кбар и для Na - до 5 кбар /2/.

Измерения, выполненные на нескольких образцах криокристаллов, носили предварительный характер и имели целью выявить АЭ, связанную с фазовыми превращениями в этих системах. Во всех исследованных веществах такая эмиссия была обнаружена. ЕЕ характер отличен от наблюдавшегося в металлах и имеет свои особенности для каждого из кристаллов.

Проведенные исследования показали, что явление АЭ характерно для структурных превращений, идущих с большими скоростями, что

свойственно превращениям мартенситного типа. Наиболее вероятным универсальным механизмом возникновения АЭ при этом является нестационарное движение межфазной границы, наряду с которым могут проявляться и другие источники типа двойникования, движения дислокаций и пр.

Литература :

I. -Б.И. Вороненко "Акустическая эмиссия при фазовых превращениях в сплавах". Металловедение и термическая обработка металлов № 8, стр. 30 ÷ 36, I982 г.

2.- А.А. Чернышов, В.А. Сухопаров, Р.А. Садыков. "Влияние давления на фазовые превращения в *Li* и *Na*". Письма ЖЭГФ, г.37, стр.345--486, I983г.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ *TiNi*

В.А. Плотников, Л.А. Монасевич, Ю.И. Паскаль

Исследовано акустическое излучение в узком диапазоне частот около 100 кгц при мартенситном превращении (МП) в сплавах, содержащих 49,8; 50,0; 50,3 и 50,5 ат.% *Ni*, при чувствительности 0,3 мкВ (для напряжения, приведенного ко входу).

В исследованных сплавах высокотемпературная фаза имеет структуру B2, а низкотемпературные фазы - ω -подобную структуру *R* и структуру B19′ (результат моноклинного искажения B19) [1]. Обратимые превращения B2 ⇄ B19′ и B19 ⇄ *R* являются переходами первого рода и протекают в некотором температурном интервале двухфазности, переход же B2 ⇄ *R* близок ко второму роду, в частности, при этом переходе не выявляется интервал двухфазности. В исследованных сплавах при охлаждении в интервале от 100 до 0°С.осуществляются последовательности превращения: B2 → B2 + B19′ → B19 (в сплаве с 49,8 %), B2 → B2 + + B19′ → *R* + B19 → B19′ (50,0 % *Ni*), B2 → *R* → *R* + B19′ → B19 (в сплавах с 50,3 и 50,5, а также, после нескольких циклов МП, и в сплаве с 50,0 % *Ni*) [1].

В исследованных сплавах в ходе первого цикла МП уровень АЭ (интенсивность, мощность и энергия излучения) в полуцикле нагрева, то есть при обратном превращении, на несколько порядков ниже, чем в полуцикле охлаждения, т.е. при прямом превращении. АЭ при обратном МП исчетает после двух-трех циклов превращения. По мере увеличения количества циклов снижается также уровень АЭ при прямом МП. После достаточного (около 40) количества циклов эмиссия не регистрируется ни в полуцикле нагрева, ни в полуцикле охлаждения, хотя, согласно рентгенографическим данным, превращение при этом протекает. Будучи подавленной многократным циклированием, АЭ восстанавливается после кратковременного нагрева до 500°С. При этом воспроизводятся многие детали акустических кривых.

Совокупность полученных результатов позволяет заключить, что АЭ, сопровождающая МП в исследованных сплавах и регистрируемая в диапазоне частот около 100 кгц при указанной чувствительности метода, обусловлена не самим превращением, а процессами необратимого накопления кристаллографических дефектов, ответственными за фазовый наклеп. Уровень эмиссии при первом цикле МП тем ниже, чем выше содержание никеля в сплаве (с увеличением концентрации

никеля в сплавах на основе $TiNi$ снижаются и другие характеристики фазового наклепа [2]).

Таким образом, АЭ оказывается эффективным методом исследования процессов, ответственных за фазовый наклеп. В частности, она показывает, что в исследованных сплавах необратимое накопление кристаллографических дефектов происходит при прямом (а не при обратном) МП.

В сплавах с 50,3 и 50,5 % Ni (а также в сплаве с 50,0 Ni после нескольких циклов МП), где реализуется последовательность $B2 \rightarrow R \rightarrow R + BI9' \rightarrow BI9'$, помимо акустического излучения, сопровождающего МП, регистрируется при охлаждении специфическое излучение (с существенно более низкими интенсивностью и энергией) в интервале температур выше точки T_R перехода $B2 \rightleftarrows R$. Это излучение, очевидно, связано с предпереходными явлениями, его детальная природа пока неясна. Уровень предпереходной эмиссии не меняется при циклировании в интервале температур выше T_R, но сильно снижается в результате циклирования в интервале МП. После достаточного количества таких циклов предпереходное излучение (как и излучение, сопровождающее МП) не регистрируется.

Лишь в специальных частных случаях регистрация АЭ дает верные сведения о положении мартенситных точек. Только в сплаве с 49,0% Ni температура появления акустических сигналов в ходе охлаждения при первом цикле совпадает с определенной рентгенографическим методом температурой $M_н$ начала прямого МП. В сплавах с более высоким содержанием никеля ситуация усложнена предпереходным излучением. Температуры начала и конца обратного превращения не могут быть определены методом АЭ, так как излучение при этом оказывается очень слабым и регистрируется в интервале температур более узком, чем интервал обратного МП. По той же причине мартенситные точки не могут быть определены уже после нескольких циклов МП. Поэтому к АЭ как к методу определения мартенситных точек следует относиться с большой осторожностью.

Литература

I. Д.Б. Чернов, Ю.И. Паскаль и др. Диаграммы структурных превращений сплавов на основе никелида титана и эффекты памяти формы.- Известия вузов, Физика, I98I, № 3, с.93-96.

2. В.Я. Ерофеев, Л.А. Монасевич и др. Фазовый наклеп при мартенситном превращении никелида титана. ФММ, I982, т.53, в.5, с. 963-965.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА СТАЛЕЙ 40Х, 30ХГСА, У8 НА ПАРАМЕТРЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Н.М. Меньшиков, Ю.С. Субботин

В данной работе исследовалось влияние температуры отпуска сталей 40Х, 30ХГСА, У8 на параметры АЭ. Получены зависимости "а" амплитуды сигналов, скорости счёта, общего числа импульсов АЭ за T/2 от температуры отпуска при перемагничивании образцов по петле гистерезиса, а также зависимости "б" скорости счёта и числа импульсов от температуры отпуска при намагничивании образцов до технического насыщения и размагничивания их по петле гистерезиса до магнитного состояния, соответствующего значению остаточной намагниченности.

Исследованию подвергались образцы цилиндрической формы, которые перемагничивались в соленоиде (постоянная соленоида К= 116) с частотой 0,2гц. Длина образцов ℓ =250,283мм, диаметр d =10,11мм. Температура отпуска изменялась от 160°С до 700°С.

Сигналы АЭ снимались пьезодатчиком, который присоединялся к торцу исследуемого образца с помощью специального прижимного устройства, и регистрировались в полосе 100-300кгц. После электронной обработки сигналы поступали на осциллограф.

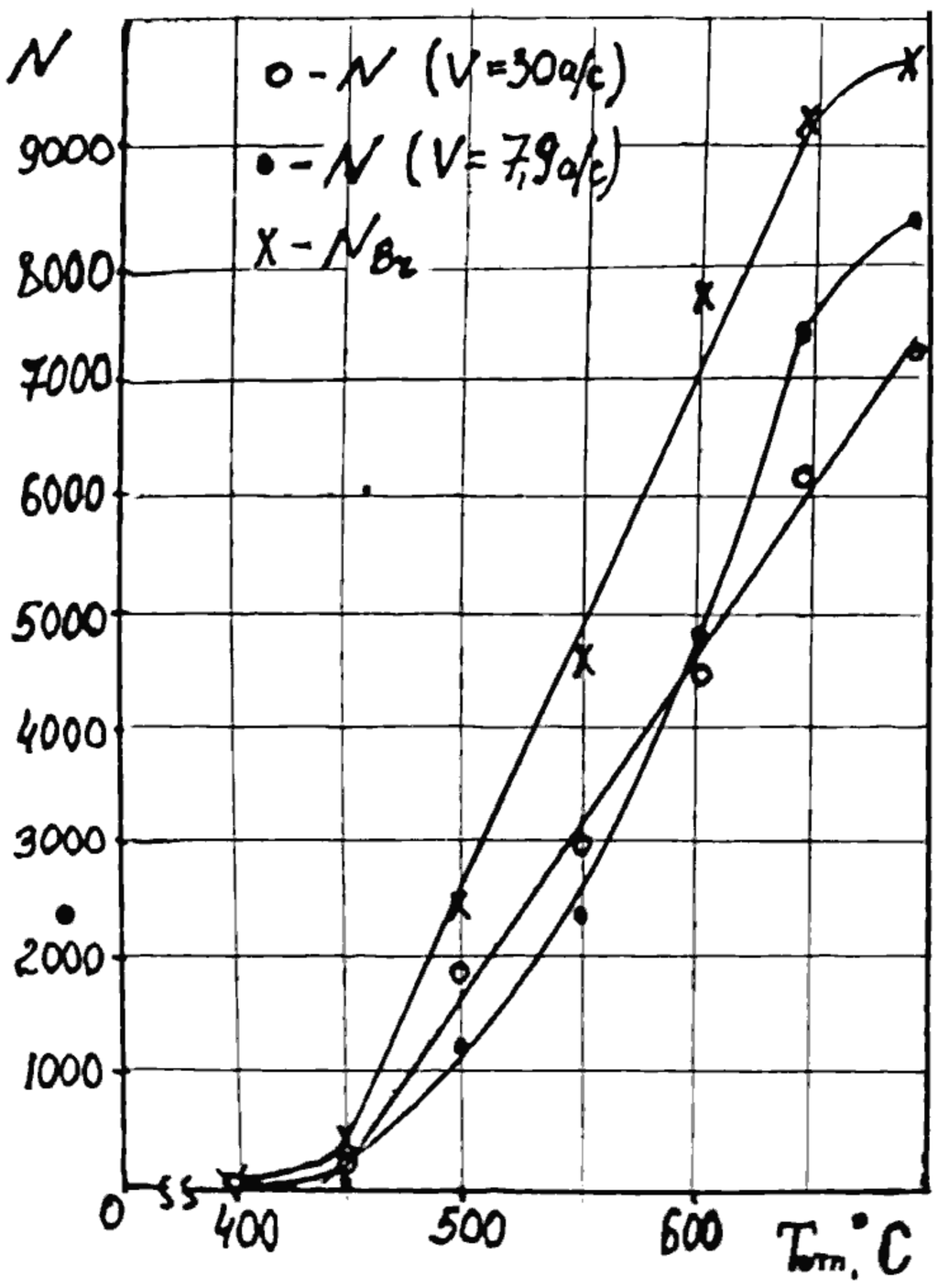


Рис.I.

На рис.I, для стали 30ХГСА, показана зависимость числа импульсов АЭ от температуры отпуска при 2-х скоростях намагничивания, а также числа импульсов ($N_{Вг}$) от $T_{отп.}$ при размагничивании образцов до состояния остаточной намагниченности. Из рис.I видно, что при росте $T_{отп.}$ от 450°С до 680°С число импульсов увеличивается более, чем в 20 раз. При измерении 2-х других параметров наблюдается такой же рост сигналов АЭ.

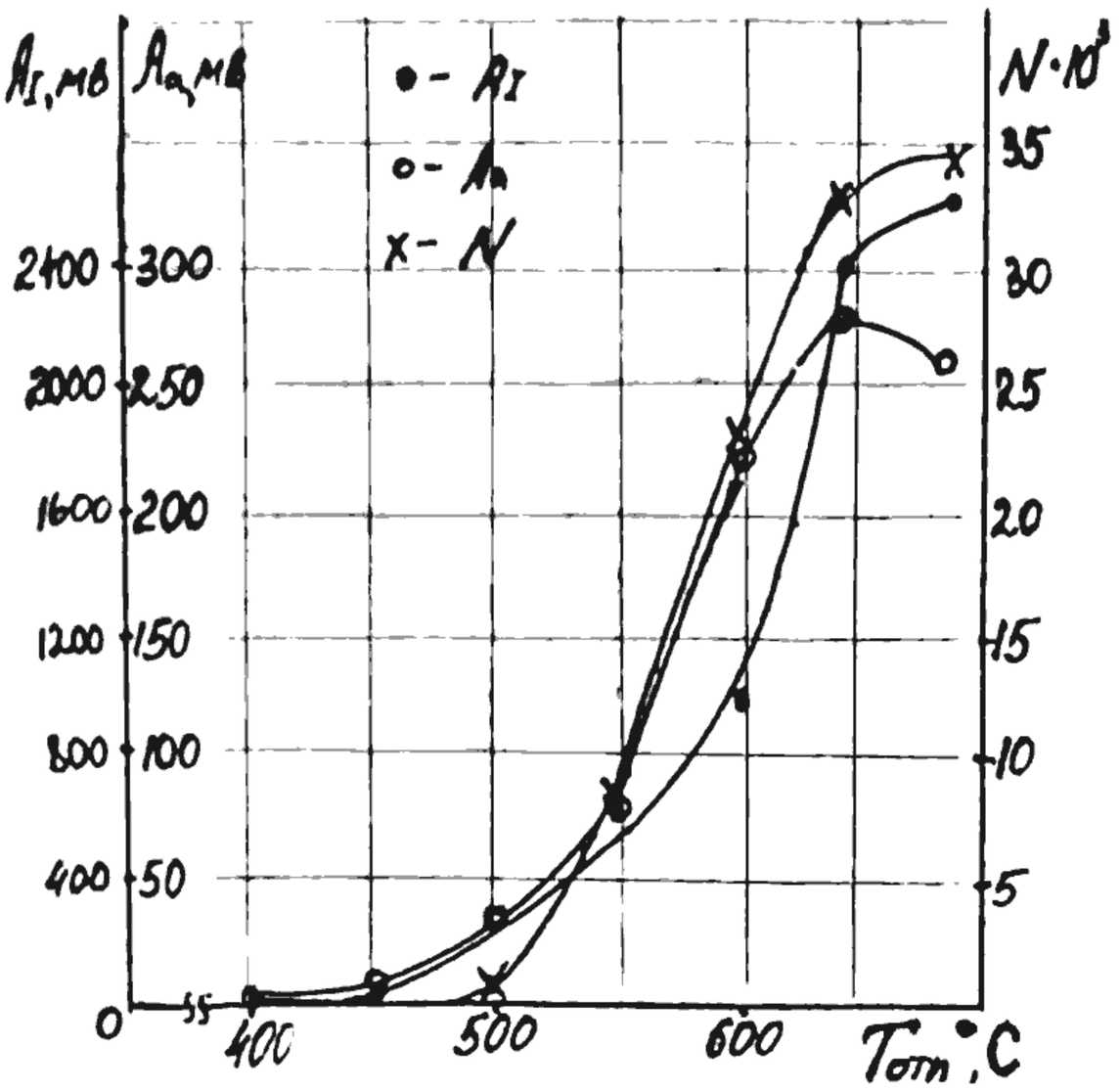


Рис.2.

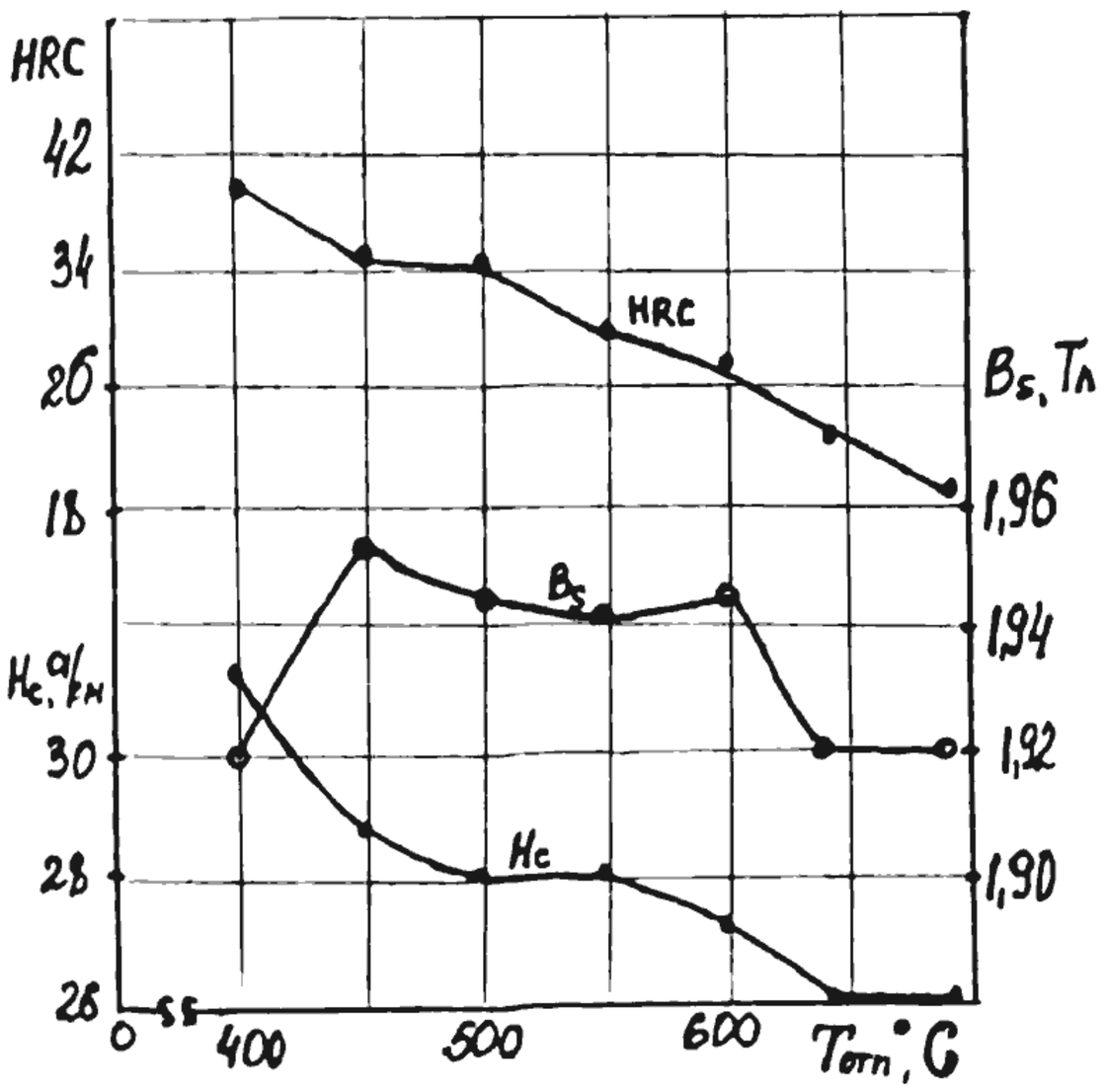


Рис.3.

На рис.2 представлена зависимость параметров АЭ от $T_{отп.}$ при перемагничивании образцов стали 30ХГСА по петле гистерезиса (амплитуда поля H=370 а/см). Точки, отложенные на графиках зависимостей амплитудного распределения (A_a) и распределения скорости счёта (A_1) АЭ, соответствуют максимальным значениям амплитуд огибающих этих распределений. На этом рисунке также виден рост сигналов АЭ с увеличением $T_{отп.}$. Аналогичные результаты получены для сталей 40Х и У8.

При перемагничивании образцов по петле, одновременно с регистрацией сигналов АЭ, измерялись динамические H_c и B_s на данном частном цикле. Для всех трёх сталей наблюдалась неоднозначность значений данных магнитных характеристик от температуры отпуска.

В результате исследований обнаружено, что для сталей 40Х, 30ХГСА, У8 с увеличением $T_{отп.}$ растут пркти́чески все три параметра АЭ, в то время , как магнитные характеристики меняются неоднозначно. Найденные корелляционные зависимости позволяют использовать параметры АЭ для контроля температуры отпуска.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ПОЛИМОРФНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В ТЕЛЛУРИДЕ ГЕРМАНИЯ

О.Ш.Гогишвили, С.П.Лалыкин, Н.С.Редька,
Н.П.Рубинштейн

Теллурид германия в интервале температур 300–700 К претерпевает два полиморфных превращения, что существенно усложняет технологию изготовления и эксплуатацию изделий из сплавов на его основе [I].

Настоящая работа посвящена изучению АЭ при полиморфных превращениях в $GeTe$, с целью установления корреляции между структурными изменениями, происходящими в сплаве, и параметрами излучаемой при этом АЭ.

Исследования проведены на литых и металлокерамических образцах состава $Ge_{0,975}Te_{1,025}$ размером IOxIOxIO $мм^3$. Регистрация сигналов АЭ производилась в процессе охлаждения сплава (скорость охлаждения = IO К/мин), после гомогенизирующего отжига при температуре T = 870 К, в течение 30 минут. Установка регистрации сигналов АЭ описана в [2]. В качестве основного параметра использована величина, пропорциональная энергии сигнала АЭ (E_c).

Из рис.I, где представлена зависимость текущего значения энергии сигналов АЭ от температуры, видно, что при охлаждении $GeTe$ наблюдается два пика – низкотемпературный и высокотемпературный. Эмиссия носит дискретный характер. Динамический диапазон амплитуды сигналов в литых образцах ~50 дб, в металлокерамических – 30 дб.

Установлено, что высокотемпературный пик вызван $\beta \rightarrow \alpha$ превращением, которое относится к мартенситному типу, а низкотемпературный $\alpha \rightarrow \gamma$ превращением. Металлографические исследования показали, что $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение сопровождается образованием большого числа микротрещин, которые и вызывают излучение сигналов АЭ. Рентгеновские исследования сплавов позволили установить, что суммарная энергия сигналов АЭ ($E_{c\Sigma}$), излучаемая при $\alpha \rightarrow \gamma$ превращении, прямо пропорциональна количеству материала, претерпевшего превращение.

Разброс значений $E_{c\Sigma}$ в литых образцах достигает ~50%, а в металлокерамических ~I0%, поэтому исследования, в которых используются количественные оценки величины $E_{c\Sigma}$, были проведены на образцах, изготовленных металлокерамическим способом.

С помощью АЭ метода было исследовано влияние промежуточного отжига на кинетику $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения. Для этого образцы охлаждались по следующему режиму: охлаждение до T_0 (T_0 – температура промежуточного отжига), выдержка длительностью t_0, охлаждение с

той же скоростью до комнатной температуры.

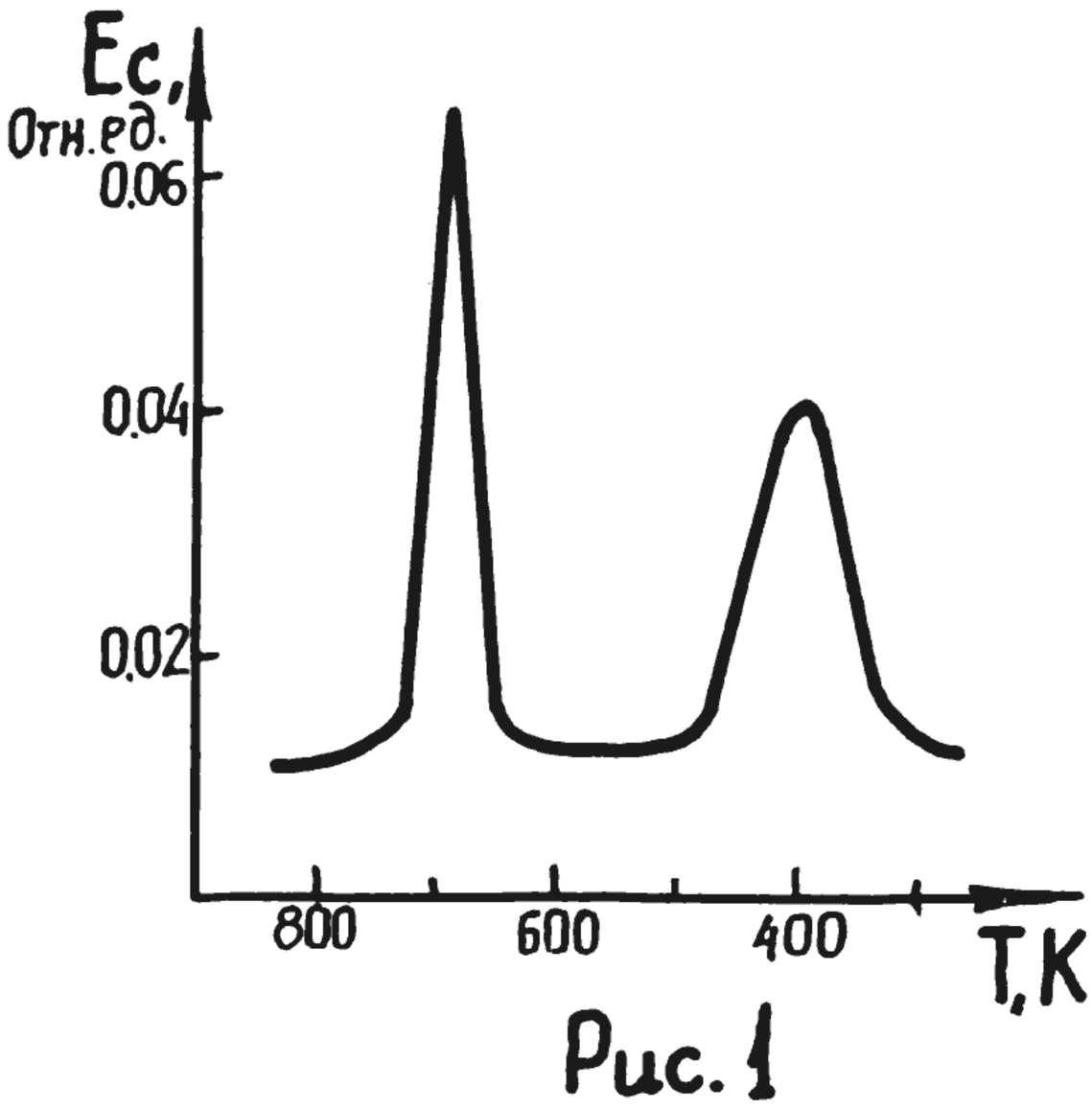


Рис. 1

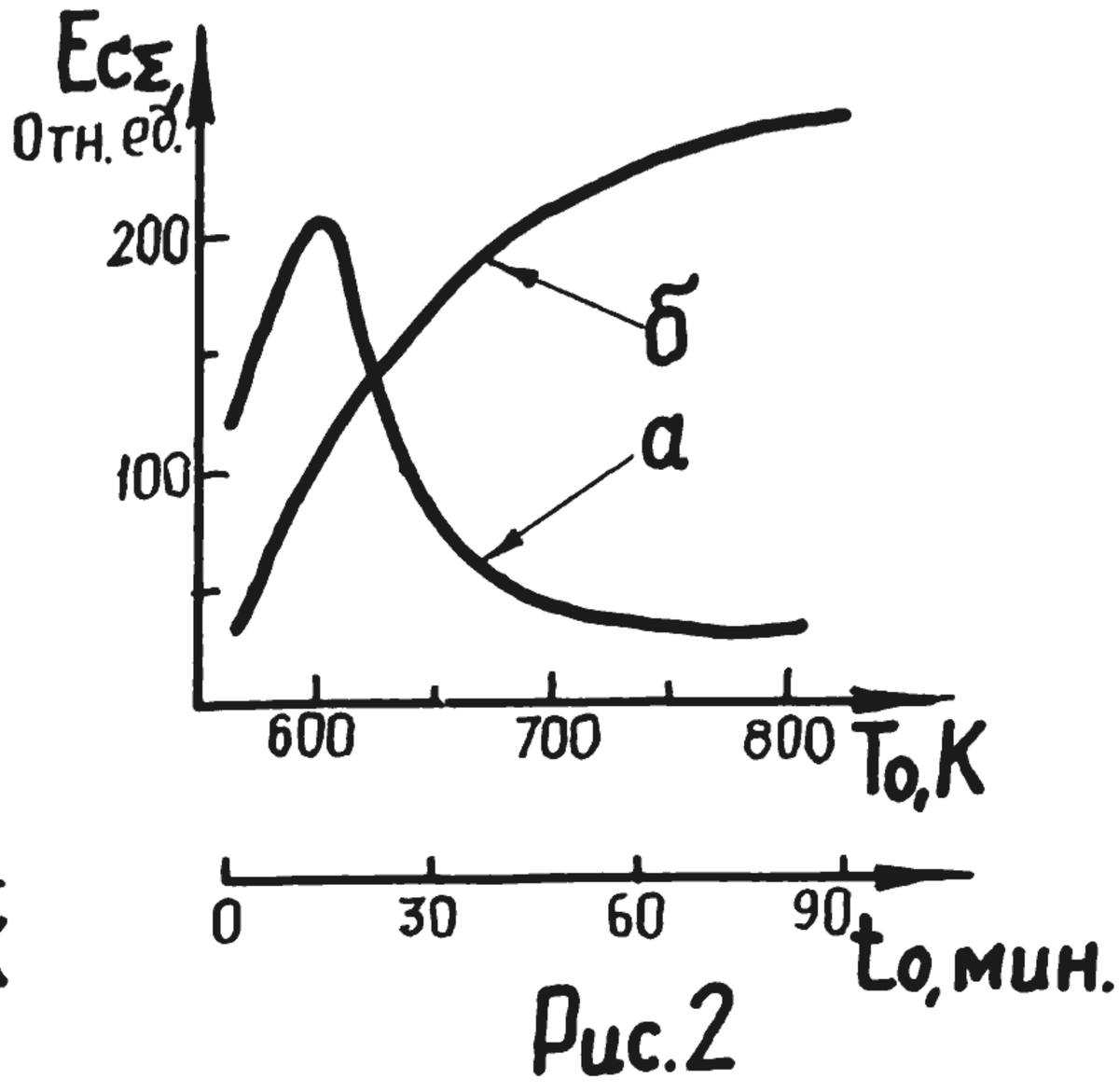


Рис. 2

На рис.2 представлена зависимость $E_{c\varepsilon} = f(T_o)$ (кривая а), полученная при постоянном t_o =45 мин, и зависимость $E_{c\varepsilon} = f(t_o)$ при постоянной T_o= 600 К (кривая б). Как видно из этого рисунка, для GeTe существует характеристическая температура (T_α),промежуточный отжиг при которой вызывает наибольшее возрастание энергии сигналов АЭ, а следовательно и интенсивности трещинообразования, сопровождающего последующее $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение. Кроме того, как показывают данные рентгеновского анализа, промежуточный отжиг при $T=T_\alpha$ уменьшает скорость $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения.

Таким образом, как следует из полученных результатов, АЭ метод является перспективным для исследования кинетики полиморфных превращений в GeTe , а также для экспресс-контроля за изменениями структуры сплавов на его основе.

Литература:

I. М.С.Василевский, С.С.Горелик, А.Н.Дубровина, Ю.М.Литвинов. Микроструктура сплавов низкотемпературного теллурида германия. ФХОМ, 1977, № 5, стр.105.

2. А.Г.Битти, Р.А.Харамильо. Измерение энергии акустической эмиссии, ПНИ, 1974, № 3, с.21.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ

В.В. Белов, Л.К. Зарембо, О.Ю. Сердобольская

Процессы переключения сегнетоэлектриков в постоянном электрическом поле сопровождаются не только импульсами тока (эффект Баркгаузена), связанные с пробоем, движением и слиянием доменных зародышей, но и генерацией звука. По аналогии с излучением звука при образовании дислокаций и микротрещин в твердых телах при нагружении ее называют акустической эмиссией (АЭ) [I,2] .

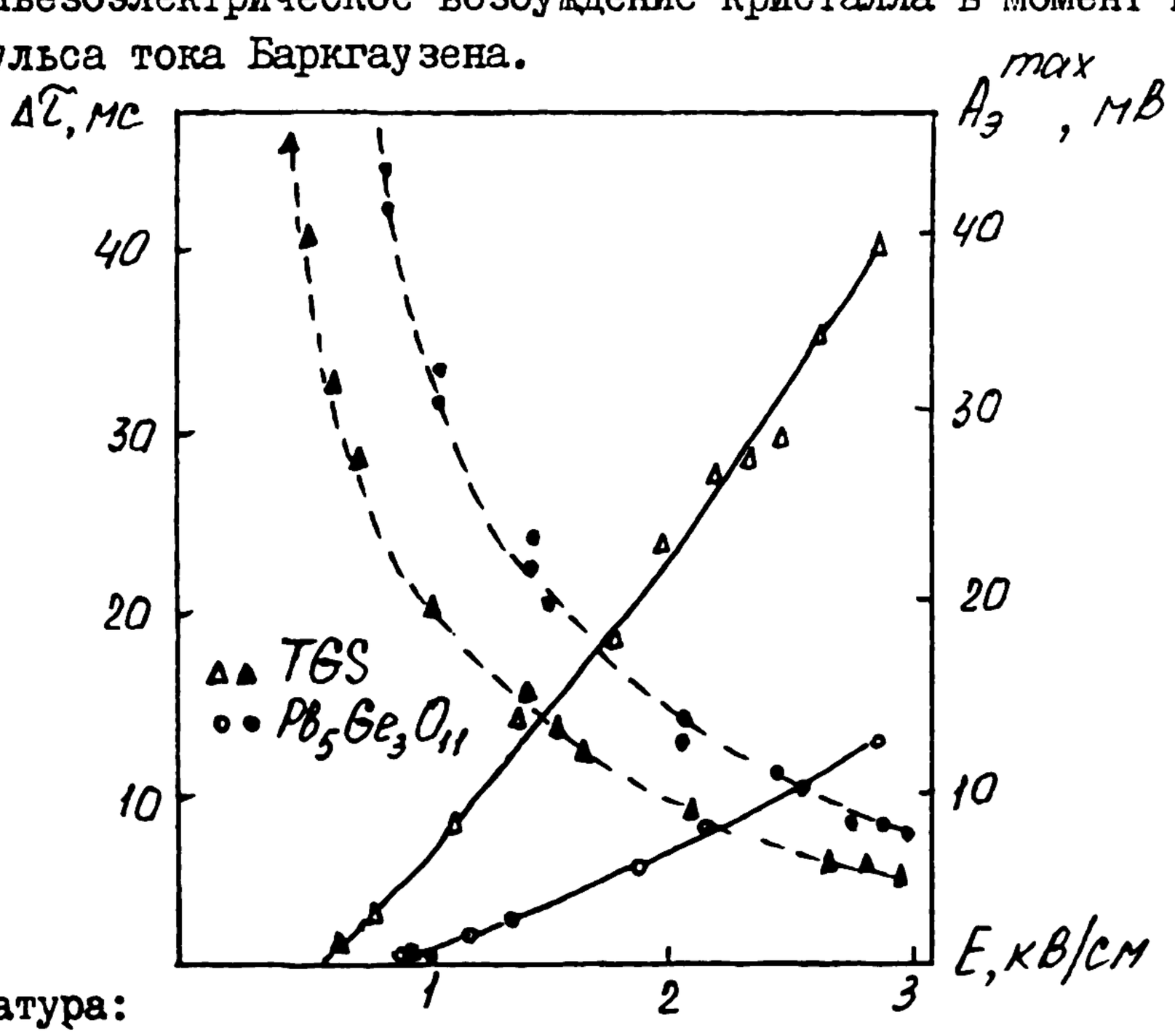
Нами исследовалась АЭ в германате свинца ($Pb_5Ge_3O_{11}$) и триглицинсульфате (TGS). Переполяризующее поле прикладывалось вдоль полярной оси кристаллов. Использовались следующие режимы переключения: медленно меняющееся поле, включение постоянного поля, однократный прямоугольный импульс поля длительностью 5 ÷ 50 мс ($U \leqslant 3$ кВ). Состояние доменной структуры германата свинца могло контролироваться оптически в поляризационном микроскопе. Образцы приклеивались на акустический буфер, прошедший через буфер акустический сигнал принимался пьезопреобразователем с резонансной частотой 5 мГц. Одновременно с АЭ регистрировались импульсы Баркгаузена. Оба сигнала подавались на двухлучевой запоминающий осциллограф.

Проведенные исследования показали, что каждому наблюдаемому пику Баркгаузена соответствует сигнал АЭ. Импульс Баркгаузена имеет вид однополярного выброса с резким фронтом нарастания и эспоненциальным спадом порядка I мс; импульс АЭ начинается на 3,2 мкс позже, что соответствует времени распространения продольных колебаний в буфере. Начальный участок представляет собой картину мгновенных сжатий и разрежений на поверхности образца в момент прохождения тока Баркгаузена, далее происходит раскачка образца на собственной частоте порядка 500 кГц. На осциллограмме одиночного импульса АЭ могут наблюдаться сигналы, возникающие в объеме образца.

Исследовались амплитудные и временнне характеристики процесса, поведение которых в зависимости от величины приложенного поля показано на рис. I. АЭ возникает при определенной величине порогового поля $E_п$, зависящей от толщины кристалла, и с некоторой задержкой $\Delta\tau$ относительно момента включения поля. Генерация шума эмиссии нарастает в течение 6–7 мс до максимального значения $A_э^{max}$, затем постепенно спадает по амплитуде. При этом в интервале 30–40 мс отдельные импульсы не разрешаются, далее частота следования

импульсов АЭ уменьшается, и можно разрешить и исследовать подробно отдельные сигналы АЭ. Из рис.I видно, что сигналы АЭ в TGS при одинаковых значениях напряженности электрического поля в несколько раз превышают сигналы в $Pb_5Ge_3O_{11}$ при одинаковой толщине исследуемых образцов. Это объясняется тем, что коэрцитивное поле в TGS значительно меньше, чем в $Pb_5Ge_3O_{11}$, и переполяризация начинается раньше, что также видно из зависимости $\Delta\tau(E)$ для этих двух кристаллов. Наблюдаемые процессы АЭ, по-видимому, соответствуют схлопыванию доменов, поскольку пробой мелких одиночных доменов в начале переполяризации начинается значительно раньше, чем процессы эмиссии, что контролируется визуально при подаче на кристалл коротких импульсов поля. Возможно, сигналы эмиссии при пробое микронных доменов лежат ниже чувствительности аппаратуры.

При исследовании формы одиночных импульсов АЭ показано, что вид сигнала АЭ в основном совпадает с пьезоотликом кристалла при возбуждении его коротким электрическим импульсом вдоль полярной оси. Поэтому основным механизмом возникновения АЭ при переключении является пьезоэлектрическое возбуждение кристалла в момент прохождения импульса тока Баркгаузена.



Литература:

1. Buchman P. Solid State Electzonica, 1972, v.15, №1, p. 142
2. Mohamad I.J., Lambson F.F, Miller A.J., Saunokers G.A. Phys. Lett 1979, v.71A, №1, p. 115.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

В.А.Калитенко, И.Я.Кучеров, О.В.Ляшенко, В.М.Перга

В последнее время метод акустической эмиссии (АЭ) находит широкое применение не только для контроля целостности материалов и конструкций, но также и для решения ряда физических задач [1,2].

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования акустической эмиссии, возникающей:

1) при протекании тока через германиевые диоды и транзисторы;
2) при нарушении адгезионных и кодгезионных связей в композиционных материалах;
3) при исследовании размытых фазовых переходов в керамике титаната бария.

При протекании тока через полупроводниковые приборы в них, вследствие разогрева, возникают локальные области напряженного состояния. В результате этого в приборе появляются источники АЭ. Интенсивность источников АЭ должна возрастать в предпробивном состоянии, когда ток через прибор начинает резко увеличиваться. Нами была предпринята попытка обнаружения таких источников АЭ с целью использования акустической эмиссии для диагностики предпробивного состояния полупроводниковых приборов. Исследовались полупроводниковые диоды Д302 и транзисторы П201. В них обнаружена акустическая эмиссия при протекании тока. Обнаружено также, что при приложении обратного напряжения к диоду в нем возникает акустическая эмиссия при напряжениях, меньших, чем напряжение, при котором происходит тепловой пробой диода. Обнаружен эффект, подобный эффекту Кайзера. Он заключается в том, что при циклическом включении постоянного напряжения возникновение акустической эмиссии наблюдается при токах, больших, чем в предыдущем цикле.

Исследовалась акустическая эмиссия, возникающая в композиционном материале при усталостном разрушении. Использовались однонаправленные волокнистые композиты (эпоксидная смола, армированная медными проволоками). В качестве информативного признака использовалось амплитудное распределение сигналов акустической эмиссии. На гистограмме амплитудного распределения сигналов акустической эмиссии при деформации изгиба наблюдается четыре максимума. Используя дополнительные

исследования, удалось установить, что при усталостном разрушении по данным амплитудного распределения можно выделить четыре процесса: I) разрушение адгезионных связей; 2) разрушение кодгезионных связей; 3) разрушение проволок; 4) деформация проволок. Полученные результаты дают основание предполагать, что амплитудный анализ сигналов акустической эмиссии при нагружении композитов может быть использован не только для диагностики разрушения этих материалов, но и для исследования адгезионных и кодгезионных связей в полимерных композитах.

Керамика на основе титаната бария с различными примесями широко используется в электронной технике и акустоэлектронике для различных целей: изготовления конденсаторов, акустоэлектрических преобразователей, твердотельных линий задержки, акустоэлектронных фильтров, устройств свертки и др. Вместе с тем в области фазового перехода сегнетофаза - парафаза происходят резкие изменения свойств керамики. В результате таких изменений претерпевают значительные изменения и параметры устройств, в которых используется керамика. В этой связи становится важным вопрос об определении температур, при которых протекает фазовый переход, так как в керамике с примесями фазовый переход становится размытым, диэлектрическая проницаемость слабо изменяется в широком интервале температур (в области Кюри). В таком случае методика определения температуры Кюри по максимуму диэлектрической проницаемости становится малопригодной. В работе проводились измерения интенсивности акустической эмиссии и диэлектрической проницаемости в области фазового перехода сегнетофаза - парафаза. Показано, что акустическая эмиссия в случае размытого фазового перехода точнее регистрирует область температур, при которых происходят структурные изменения в керамике, чем температурная зависимость диэлектрической проницаемости, имеющая размытый максимум.

Литература:

I. A. E. Lord. Acoustic Emission. Phys. Acoust. vol. II, pp. 289, № 4, I975 г.

2. В.А.Грешников, Ю.Б.Дробот. "Акустическая эмиссия". М., Издательство стандартов, I976 г.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ФАЗОВОМ ПРЕВРАЩЕНИИ В ИОДАТЕ ЛИТИЯ

К.Ж. Аубакирова, А.И. Недбай, С.Н. Сакиев, В.А. Шутилов

В настоящее время многие физические процессы в твердых телах, такие, как зарождение и перемещение дислокаций, образование и рост микротрещин, фазовые превращения и др. исследуются методом акустической эмиссии (АЭ). Однако, для систематизации накопленного материала необходимы исследования по идентификации сигналов АЭ и корреляции их параметров (форма, амплитуда, частота) с самими процессами [I-4].

В настоящей работе методом АЭ исследовалось термическое разрушение кристаллов α-$LiJO_3$, происходящее вследствие необратимого реконструктивного перехода в тетрагональную β-модификацию при температуре около +240°С. Изучение сигналов АЭ в кристалле α-$LiJO_3$ представляет особый интерес, поскольку датчики из этого кристалла, обладая равномерной амплитудно-частотной характеристикой в широком диапазоне частот [5], удобны для идентификации сигналов АЭ. При этом кристалл иодата лития, являясь и объектом исследования и, одновременно, самим же датчиком, позволяет получить „чистую форму" акустического сигнала от того или иного события в нем, что в других экспериментальных исследованиях весьма затруднительно.

Образец иодата лития в виде плоскопараллельной пластинки Z - среза толщиной I,5 мм и диаметром ~ I2 мм помещался в печь, температура которой изменялась в пределах 20 ÷ 260°С со скоростью 0,08÷0,I град/мин. Для устранения помех образец экранировался электрически и акустически, а печь запитывалась от источника постоянного тока. Электрические сигналы, снимаемые с напыленных в вакууме серебряных электродов, поступали на счетчик импульсов и запоминающий осциллограф. Температура образца определялась с точностью ~ 0,5°С.

Результаты измерений интенсивности сигналов АЭ в иодате лития в зависимости от температуры представлены на рис.I для двух вариантов. В первом случае диаметр обкладок (электродов) был соизмерим с диаметром образца (рис.Iа). Во втором случае (рис.Iб) диаметр обкладок составлял I,2 мм. Как видно из рис.I, в обоих случаях интенсивное выделение сигналов АЭ начинается около 244°С и полностью прекращается при 250 ÷ 25I°С, что достаточно хорошо согласуется с литературными данными о деструктивном фазовом переходе в иодате лития [6].

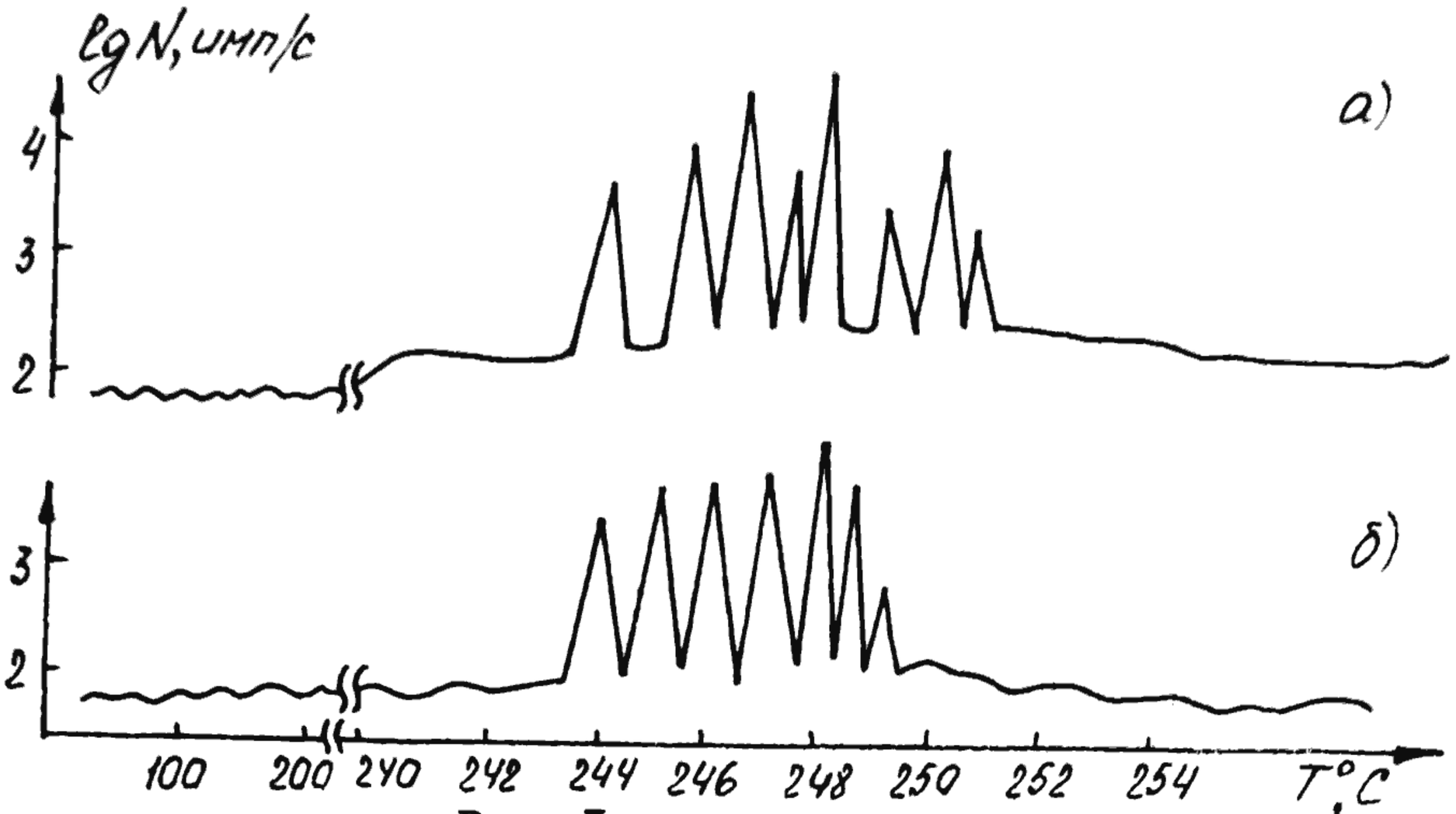


Рис. I

Литература:

I. В.С. Бойко, Р.И. Гарбер, Л.Ф. Кривенко, ФТТ, 4, I233, I974г.

2. В.Д. Нацик. Письма в ЖЭТФ, 6, 324, I968г.

3. Р.М. Ахунов, Б.Л. Баксин, А.М. Лекоовский, В.Р. Регель. В кн. У Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. Алма-Ата: Наука, 36, I98I г.

4. Ю.И. Лыков, Л.А. Маслов, В.И. Панин. Дефектоскопия, № 6, 75, I974 г.

5. А.А. Абрамович, Л.И. Недбай, С.Н. Сакиев, Ю.В. Судьенков, Н.М. Филиппов, В.А. Шутилов. Кр. тезисы докл. Всес. конф. „Основные направления развития ультразвуковой техники и технологии на период I98I + I990 гг.", Суздаль, 38, I982 г.

6. „Иодат лития". Под ред. С.В. Богданова, Новосибирск, Наука, I980 г.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КЕРАМИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Ю.В.Божко, В.В.Еремин, Л.И.Лавейкин,
В.Е.Малыгин, К.В.Набойченко

Акустико-эмиссионный метод позволяет получить дополнительную информацию и может быть успешно использован при исследовании физико-механических свойств керамического ядерного топлива в условиях, близких к рабочим.

Акустическая эмиссия (АЭ) регистрировалась при испытаниях сердечников твэлов из двуокиси урана при температурах до 1700 К и сжимающих напряжениях до 120 МПа вне и в поле реакторного излучения. В установках используются металлические стержневые звукопроводы, пневматическая и гидравлическая системы нагружения, предварительный усилитель на основе металлокерамических электронных ламп. Прибор-регистратор АЭ разработан на основе стандартных блоков ядерной электроники.

В докладе на конкретных примерах испытания образцов двуокиси урана в режимах ползучести, релаксации напряжений и деформирования с постоянной скоростью рассматриваются некоторые закономерности изменения параметров АЭ и основанные на них способы исследования материалов.

Отмечено характерное для металлов увеличение скорости счета АЭ при достижении стадии текучести в процессе деформирования, а также сходство кривых ползучести и суммарного счета АЭ.

Явление резкого возрастания амплитуд сигналов АЭ связано с началом стадии ускоренной ползучести, предшествующей разрушению.

Характерное для режима релаксации напряжений резкое изменение параметров АЭ в определенном диапазоне условий испытания использовано для установления скорости пластической деформации, соответствующей хрупкопластическому переходу при температуре испытания.

Увеличение скорости счета АЭ в процессе разгружения позволяет измерять уровень внутренних напряжений второго рода в нагруженном образце [1].

При ползучести керамических материалов наблюдаются максимумы скорости счета АЭ, время достижения которых подчиняется закону Аррениуса. Сделан вывод о связи указанных максимумов с процессами

диффузии [2].

Наблюдаемые закономерности проявляются и при облучении. При облучении нарушается эффект Кайзера.

Данные о физико-механических свойствах керамического ядерного топлива, полученные акустико-эмиссионным методом, подтверждаются результатами традиционных механических испытаний и соответствуют литературным. Это подтверждает правомерность применения разработанных акустико-эмиссионных способов исследования материалов, удобных для дистанционного применения, позволяющих уменьшить погрешность измерений и увеличить производительность испытаний.

Литература:

I. А.с. 834442 (СССР). Способ определения внутренних напряжений второго рода в конструкционном материале при механических испытаниях / Л.И.Лавейкин, К.И.Молодцов, К.В.Набойченко.- Опубл. в Б.И., 1981, № 20.

2. А.с. 834459 (СССР). Способ определения коэффициента диффузии / В.В.Еремин, Л.И.Лавейкин, К.В.Набойченко. - Опубл. в Б. И., 1981, № 20.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ К ИССЛЕДОВАНИЮ ХРУПКОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Ю.С.Боярская, М.С.Кац, Е.И.Пурич

Метод акустической эмиссии (АЭ) является одним из немногих, позволяющих получать информацию о динамической локальной перестройке структуры материала непосредственно в процессе деформации. Успех практического применения метода зависит от того, насколько однозначно удается идентифицировать элементарные процессы в материале, являющиеся источниками АЭ.

В Институте прикладной физики АН МССР предложен метод оценки хрупкости материалов, основанный на регистрации сигналов АЭ, возникающих при действии на их поверхность сосредоточенной нагрузки. За меру хрупкости принимался суммарный счет импульсов АЭ (N), соответствующий царапине определенной длины (2мм). Сигналы АЭ через звукопровод, которым служил шток с индентором, принимались пьезодатчиком, усиливались и обрабатывались блоком обработки, состоящим из измерителей амплитуды, скорости счета АЭ ($\dot{N}$) и счетчика импульсов (частотомер Ч3-33). Удалось показать, что источниками сигналов АЭ являются процессы трещинообразования либо двойникования, происходящие при статическом вдавливании индентора в поверхность, либо при его движении вдоль нее. Процесс образования пластической зоны при указанных воздействиях если и сопровождается излучением сигналов АЭ, то уровень его не превышает уровня тепловых шумов аппаратуры и потому не регистрируется.

Исследования проводились на широком классе материалов:щелочно-галоидных кристаллах, полупроводниках, гетероструктурах, стеклах, металлах, сплавах и покрытиях, полученных различными способами. Установлено, что,как при статическом вдавливании, так и при царапании существует некоторая критическая нагрузка ($P_к$), начиная с которой возникают импульсы АЭ. Величина этой нагрузки зависит от материала. Отметим, что АЭ при статическом вдавливании наблюдалась только на полупроводниках и стеклах, а на ЩГК и металлах не регистрировалась. Поэтому основные результаты исследования получены при деформировании образцов движущимся по их поверхности индентором.

Для полупроводниковых кристаллов GaAs сигналы АЭ обнаруживаются, начиная с нагрузок на индентор 10-15 гс, причем с увеличением нагрузки суммарный счет АЭ (N) возрастает. Изменение ори-

ентации диагонали индентора с d || <OOI> на d || <OII> на грани (OOI) уменьшает N примерно в два раза для одной и той же нагрузки.

Для гетероструктур, выращенных на различных подложках (разные грани GaAs и GaP) установлена зависимость N от типа грани, и от условий роста. Так увеличение N в слоях $Al_xGa_{1-x}As$, выращенных на грани (III)A GaP , связано с упрочнением, вызванным дислокациями несоответствия.

Эксперименты на ионных кристаллах MgO , LiF, NaF , NaCl ,KCl, которые были использованы в качестве модельных, позволили выявить анизотропию АЭ, свидетельствующую об анизотропии хрупкости исследуемых материалов ,и объяснить ее различием механизмов разрушения при царапании поверхности кристаллов вдоль различных кристалло - графических направлений. Так, при царапании кристаллов LiF вдоль [IOO] вокруг царапин наблюдаются тонкие длинные трещины, направленные вдоль [IIO] и обязанные своим происхождением аннигиляции дислокационных скоплений в плоскостях скольжения {IIO} . Для царапин вдоль [IIO] более характерны крупные выколы, связанные с отколом материала по плоскостям спайности. Оказалось, что знак анизотропии АЭ , т.е. величина $\Delta N = N_{[100]} - N_{[110]}$, различна для разных кристаллов. Подобный результат является интересным и довольно неожиданным: кристаллы, имеющие идентичные решетки, одинаковые элементы скольжения и спайности, обладают различной анизотропией хрупкости.

Исследование сплавов тугоплавких металлов на основе Mo (МТ-I, ТСМ-4, ТСМ-3, ЦМ-6), W (В-ПМ) и Cr (ВХ-2К) показало, что хрупкость этих материалов в значительной степени определяется наличием примесей внедрения, температурой и механической обработкой. Деформированные области изучались с помощью оптической и растровой электронной микроскопии. Обнаружено, что ширина царапин меняется в зависимости от наличия неоднородностей, включений, границ зерен. Эти изменения сопровождаются изменениями скорости счета $\dot{N}$.

Итак, предложенный метод позволяет оценивать поверхностную хрупкость материалов, автоматизировать процесс измерения хрупкости, усреднять результат по поверхности образца и обеспечивает высокую производительность по сравнению с общепринятыми методиками.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРОЖДЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН ПРИ МИКРОДЕФОРМИРОВАНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Э.А. Хопунов, А.В. Первухин

Одним из наиболее распространенных методов оценки хрупкой прочности твердых тел является микродеформирование путем внедрения индентора. Высокая локальность и возможность использования малых нагрузок позволяют применять указанный метод для исследования процессов зарождения и развития микротрещин в материалах с различной структурой от монокристаллов до сложных сплавов и композиционных твердых тел. Информативность метода можно значительно увеличить за счет регистрации АЭ в процессе микродеформирования /I/.

При оценке хрупкой прочности, коэффициента интенсивности напряжения важно точно оценивать величину усилия, при котором появилась или начала двигаться микротрещина, иметь возможность идентификации зоны микродеформирования и зоны, являющейся источником сигналов АЭ. Для решения указанных задач авторами разработана установка, которая позволяет автоматически по заданной программе осуществлять микродеформирование образца в любой выбранной под микроскопом зоне, строить на графопостроителе диаграмму нагружения, регистрировать акустическую эмиссию в процессе зарождения и распространения микротрещин, фиксировать нагрузку, при которой в образце появилась первая и все последующие трещины, управлять алгоритмом нагружения при помощи сигнала АЭ и т.д.

В целях приема сигналов АЭ непосредственно из зон микродеформирования датчик акустической эмиссии встроен непосредственно в оправку алмазного индентора /2/, являющегося стандартной пирамидкой Виккерса. При этом четырехгранная пирамидка индентора является одновременно и нагружающим органом, и волноводом для АЭ.

Характер развития процессов пластической деформации и разрушения при микродеформировании заставил отказаться от традиционных методов регистрации АЭ - измерений интенсивности и суммарной АЭ. В установке применены различные методы как прямого наблюдения АЭ из зон микродеформирования и появления трещин, так и различного рода методы обработки сигналов, позволяющие в аналоговом или цифровом виде регистрировать информацию о величинах нагрузки появления трещин, длине трещины и энергии АЭ в процессах хрупкого разрушения твердых тел. На рис.I приведен один из примеров аналогового

вывода информации о процессе микродеформирования и развития трещин при исследовании упругих и прочностных свойств поликристаллического кварца.

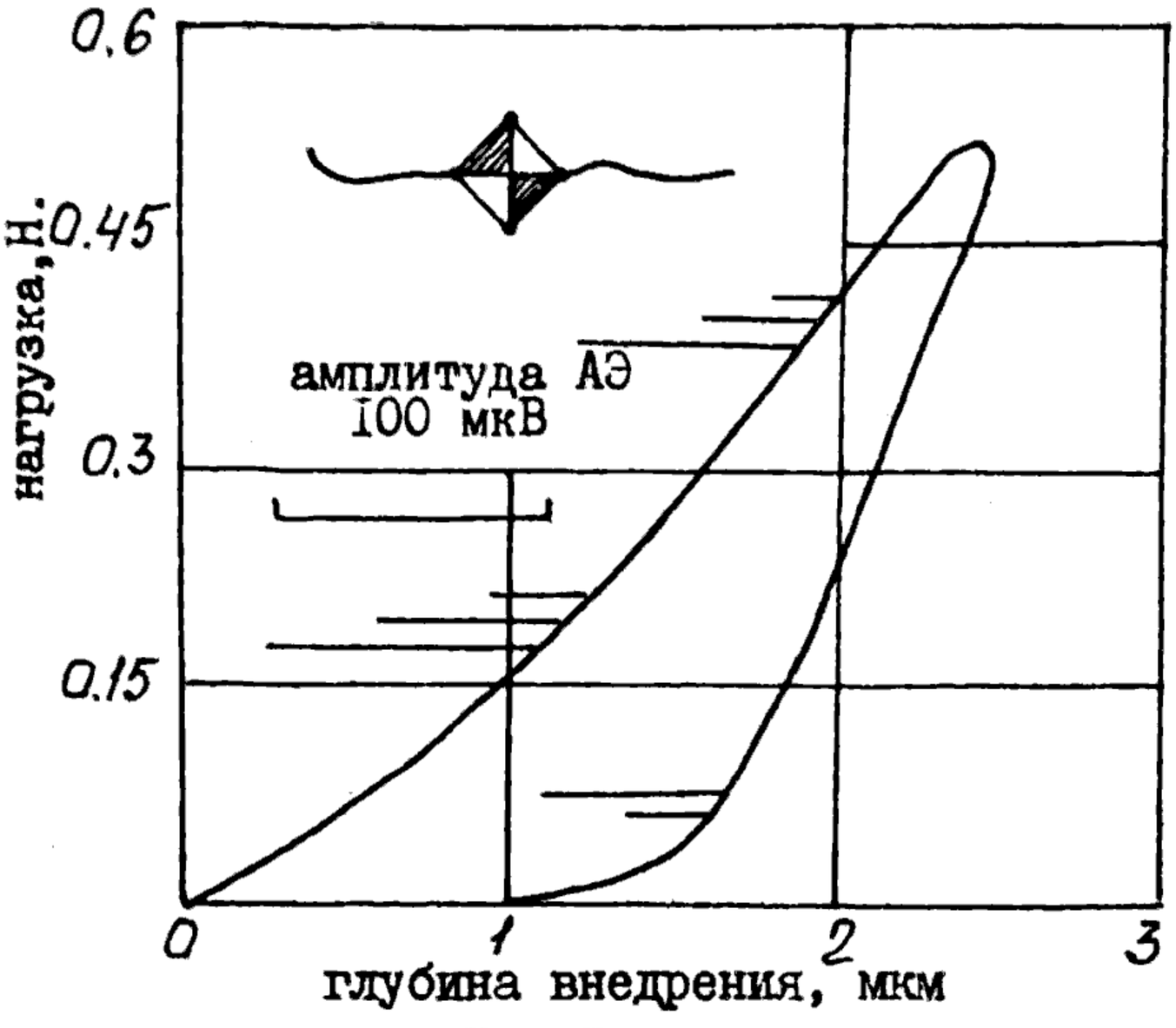


Рис.I.

На восходящем участке диаграммы нагружения рис.I штрихами различной длины отмечены процессы развития двух трещин, зарождающихся в углах отпечатка индентора, а также процессы подрастания трещин в процессе последующего нагружения (меньшие амплитуды АЭ на рис.I). На участке разгружения также отмечено появление трещин, развивающихся, по-видимому, внутри при релаксации напряжений.

Исследованиями, выполненными на целом ряде материалов, как природных (минералы, руды), так и искусственных (стекла различных марок) установлено, что характер развития микротрещин, выявленных с помощью метода АЭ в ходе микродеформирования, во многом определяется скоростью нагружения, упругими свойствами деформируемых тел, а также свойствами границ зерен и границ раздела фаз.

Литература:

I. М.Х. Шоршоров, Г.Д. Шнырев, В.А. Меркулов и др., сб. Новое в области испытания на микротвердость, I974, с. 2I2, Наука.

2. Э.А. Хопунов, И.В. Конюков, А.В. Первухин, Авт. свидет. № 855483. Бюл. ОИПОТЗ, I98I, № 30, с. I97.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

М.С.Кац, Е.И.Пурич, В.М.Ревуцкий

Развитие электрических методов обработки материалов требует изучения влияния электрического тока на поведение проводников, находящихся под действием механических нагрузок. Это важно как для создания теории электронно-пластического эффекта, так и для повышения надежности электродных узлов, испытывающих электромеханические нагрузки в процессе работы.

В настоящей работе для этих целей был применен метод оценки хрупкости материалов на основе регистрации числа импульсов акустической эмиссии (АЭ), разработанный в Институте прикладной физики АН МССР[I]. Метод заключается в воздействии на поверхность движущимся алмазным индентором и одновременной регистрацией акустических сигналов, излучаемых возникшими при этом трещинами. Зарегистрированный суммарный счет импульсов АЭ, соответствующий царапине определенной длины, служит мерой поверхностной хрупкости материала.

Опыты проводились на поликристаллических образцах молибдена длиной 30–40 мм и сечением 20–40 мм^2. Через образцы за 2–3 сек. до начала движения индентора пропускали импульсы пульсирующего тока промышленной частоты. Ток выключался одновременно с остановкой индентора через I0 сек. после включения. За это время температура образца даже при максимальных плотностях тока ($\bar{j} = 5 \cdot 10^2$ А/см^2) не превышала 80^{0}С. После каждого электрического воздействия образец охлаждали струей сжатого воздуха до комнатной температуры. После серии из 3–5 измерений числа импульсов АЭ (N) при данной плотности тока проводили такую же серию измерений без него, а затем плотность тока увеличивали и проводили новую серию измерений.

В результате экспериментов было установлено, во-первых, что при малых плотностях тока j величина N возрастает по сравнению с исходной (до воздействия током), а затем, при дальнейшем увеличении j , уменьшается. И второе –обнаружено последействие тока, а именно: существует некоторая плотность тока, такого, после прохождения которого суммарный счет импульсов АЭ в отсутствие тока меньше, чем при наличии тока. Таким образом пропускание электрического тока через образец влияет на его поверхностную хрупкость

определяемую методом АЭ.

Электронномикроскопическое исследование поверхности царапин не обнаружило существенной разницы в виде трещин, возникающих при движении индентора по образцу с током и без него. Однако такие исследования позволяют говорить о том, что наблюдаемое уменьшение суммарного счета импульсов АЭ связано с некоторой пластификацией материала и, как следствие, с уменьшением числа трещин.

Полученные экспериментальные данные можно попытаться объяснить исходя из того, что возможно как увлечение дислокаций электрическим полем, так и торможение их [2,3]. Однако, для того, чтобы сделать окончательные выводы о природе наблюдаемых эффектов необходимы дальнейшие исследования.

Литература:

I. Ю.С.Боярская, И.И.Авербух, М.С.Кац, Е.И.Пурич, Ю.Н.Дубровин. "Применение метода акустической эмиссии для оценки хрупкости материалов". Зав.лаб., № 5, с. 550-553, I974.

2. О.А.Троицкий, В.И.Спицын, В.И.Старенко. "Влияние электрического тока на релаксацию напряжений в кристаллах Zn, Cd и Pb". ДАН СССР, I978, т.24I, № 2, с. 349-352.

3. В.Б.Фикс. ЖЭТФ, I98I, т.80, в.6, с.23I3-23I6.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ и АДГЕЗИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.М. Коткис, А.М. Ширяев

Большинство используемых на практике методов определения адгезии и прочности защитных покрытий основано либо на измерении усилия отрыва покрытия от подложки, либо на деформировании образца с покрытием и визуальной регистрации разрушения покрытия. Основные трудности, связанные с необходимостью такой регистрации, можно преодолеть с помощью метода акустической эмиссии (АЭ).

В настоящей работе метод АЭ применен для исследования прочности и адгезии пиролитических хромовых покрытий, полученных путем термического разложения промышленного хроморганического соединения в интервале температур 400-500°С. Покрытия наносились на внутреннюю поверхность колец малого диаметра, изготовленных из сталей легированных марок.

Для определения механических свойств покрытий кольца с покрытиями упруго деформировались сосредоточенными нагрузками, приложенными к внешнему контуру кольца перпендикулярно образующей. Данный способ нагружения позволяет создать растягивающие напряжения в локальных зонах покрытия, действие которых приводит к разрушению и отслоению покрытия.

Регистрация элементарных актов разрушения и отслоения покрытия осуществлялась с помощью акустического тракта на основе анализатора волн напряжений АВН-1М, включающего в себя пьезопреобразователь, предусилитель, блок фильтров низкой и высокой частоты, пиковый детектор, нормализатор импульсов, счетчик импульсов, быстродействующий самописец.

В процессе испытаний пьезопреобразователь крепился непосредственно на образце. Уровень дискриминации и полоса частот пропускания подбирались методом проб при испытании образцов без покрытия для исключения механических шумов (микропластическая деформация образца, трение, шумы, связанные с работой нагружающего устройства). Опыт показывает, что надежная регистрация разрыва в покрытии толщиной более 3 мкм при выделении акустического сигнала из механических шумов обеспечивается при полосе пропускания от 200 до 700 кГц, уровне дискриминации 10 мВ и коэффициенте усиления 40 дб. Это позволяет зарегистрировать разрыв в покрытии и фиксировать значение внешней

разрушающей нагрузки по приходу первого импульса АЭ. Знание внешней нагрузки, соответствующей приходу первого импульса АЭ и напряженного состояния кольца, дает возможность определить прочность покрытия на разрыв.

В результате фрактографического анализа покрытий, проведенного с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-100, установлено, что при растяжении происходит как когезионное, так и адгезионное разрушение покрытия. Когезионное разрушение характеризуется множественным образованием в покрытии трещин нормального отрыва, ориентированных перпендикулярно действующим растягивающим напряжениям. Источником этих трещин, как правило, являются дефекты, расположенные или на поверхности покрытия, или на границе раздела подложка-покрытие. Актам образования трещин соответствуют одиночные импульсы АЭ постоянной интенсивности. Адгезионное разрушение покрытий проявляется в образовании и развитии отслоений конечной длины, расположенных в местах выхода трещин нормального отрыва на границу раздела. Образование этих отслоений, представляющих из себя сдвиговые трещины или трещины скольжения, обусловлено значительной концентрацией отрывающих напряжений при выходе трещин нормального разрыва на границу раздела. При увеличении растягивающей нагрузки трещины скольжения, в отличие от трещин нормального отрыва, развиваются устойчиво, начиная с некоторого значения растягивающих напряжений. Это вызывает резкое увеличение интенсивности АЭ, что может служить критерием для определения интенсивности сил адгезионного сцепления на границе раздела подложка-покрытие. В качестве такого критерия может быть использована величина растягивающих напряжений, которая в начале развития трещин скольжения, учитывая близость упругих модулей покрытия и подложки, пропорциональна величине вязкости скольжения данного адгезионного соединения. Тогда момент фиксации внешней нагрузки будет определяться резким увеличением интенсивности АЭ. Анализ фрактограмм покрытий показывает, что развитие трещин скольжения вызывает увеличение интенсивности АЭ до 20 имп/сек.

АКУСТОЭМИССИЯ В ПРОЦЕССЕ ГЕНЕРАЦИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Д. Адлене, Д.Ю. Бингялене, Л.Пранявичус, А.Рагаускас

Широкое применение акустической эмиссии (АЭ) в качестве неде-структивного метода для изучения кинетики разрушения твердых тел стимулирует развитие работ, посвященных более глубокому анализу источников генерации акустических волн.

В этой связи удобным инструментом искусственного воздействия на кинетику происходящих процессов является ионная имплантация. В зависимости от дозы, энергии и вида внедренных ионов, а также от вида и структуры облучаемой мишени в твердом теле создается управляемое количество радиационных дефектов, концентрация которых является динэмической функцией времени. Образование и взаимодействие этих дефектов вызывает возникновение локальных динамических напряжений, увеличение которых способствует переходу твердого тела в стадию пластической деформации и механическому разрушению твердого тела.

В работе экспериментально изучались зависимости интенсивности сигналов АЭ, генерируемых в поверхностном слое $LiNBO_3$,Al, сложного толстого композиционного материала, обладающего слоистой структурой, в процессе внедрения ионов H^+ и Ar^+ с энергией 50 - I50 кэВ и плотностью ионного тока в пучке $I0^{-2}$ - $I0^{I}$ мкА/см^2 [I].

Сигналы АЭ регистрировались контактным методом с применением пьезоэлектрических датчиков. На рис.I показана угловая зависимость интенсивности сигнала АЭ относительно вектора направления потока падающих ионов в $LiNBO_3$, а на рис.2 приведены дозовые зависимости сигнала АЭ в различных материалах.

Существующее различие между вариациями интенсивности сигнала АЭ, по-видимому, следует связывать со структурными особенностями исследуемых материалов. Для кристаллических твердых тел в интервале небольших доз ионной имплантацией наведенные механические напряжения, которые из-за статистического характера ионного воздействия являются функцией координат и времени, при наличии большого количества точечных дефектов стимулируют интенсивную генерацию дислокаций, появление которых связано с увеличением интенсивности АЭ. Для поликристаллических твердых тел ь области небольших доз АЭ связана с изменением ориентации кристаллитов в поле наведенных механических напряжений за

счет межплоскостного скольжения и двойникования. В области больших доз наличие большого количества внедренных атомов в переходном слое приводит к образованию многоатомных скоплений и газовых полостей, образование которых сопровождается излучением интенсивных сигналов АЭ.

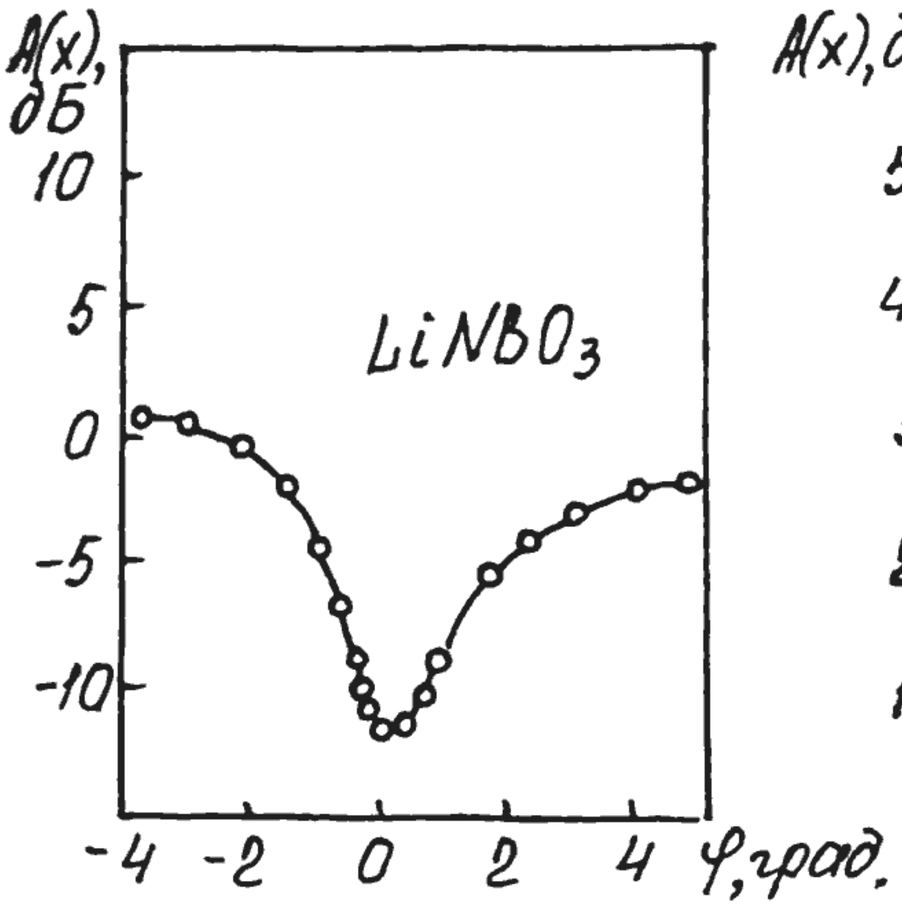


Рис.I

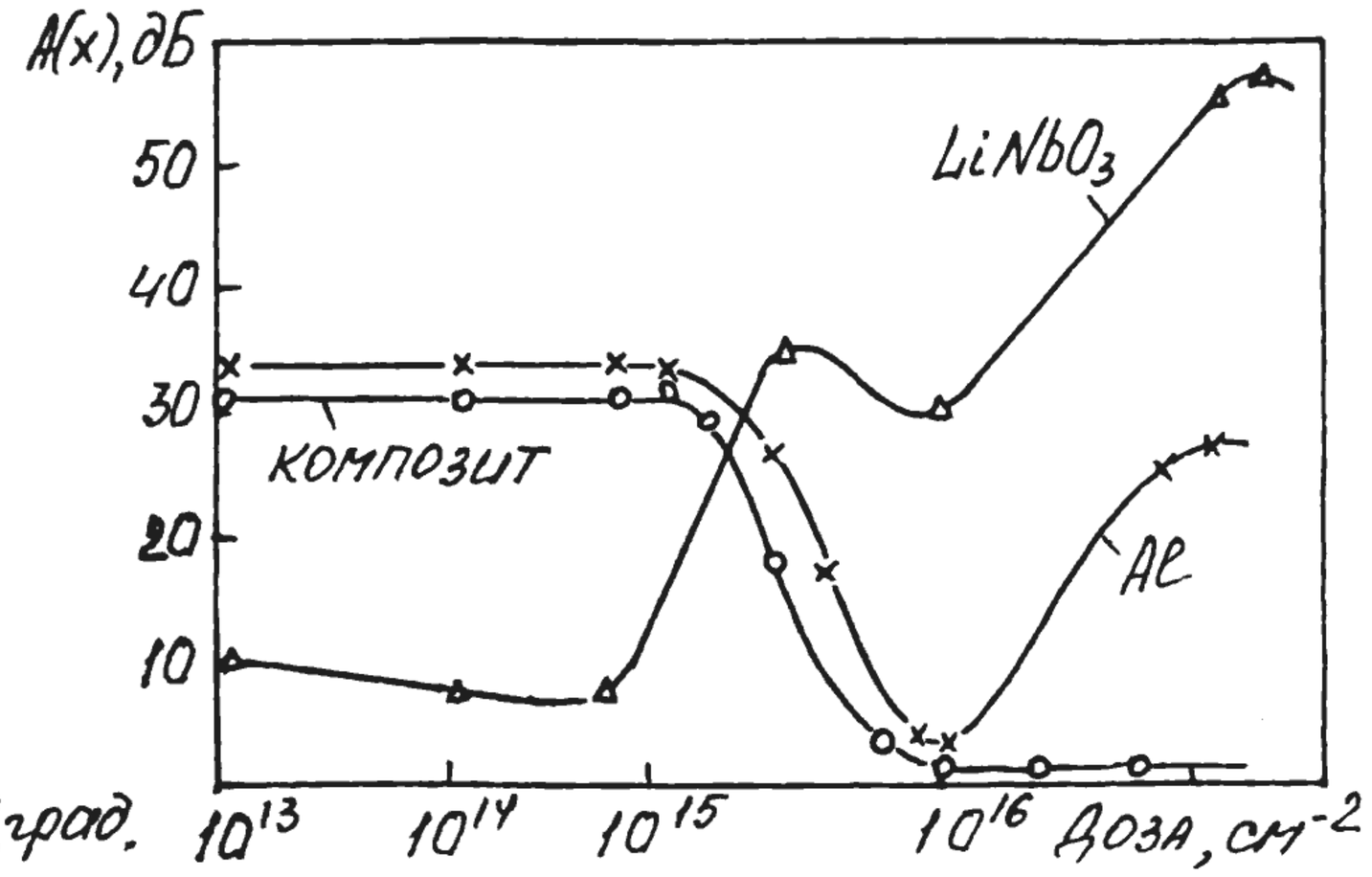


Рис.2

Ориентационные эффекты в твердых телах в механизме генерации сигналов АЭ определяются характером энергетических потерь имплантируемых атомов, который от ядерного торможения в неориентированных твердых телах переходит в преимущественно электронное торможение в режиме каналирования.

Преимуществом ионной имплантации в генерации сигналов АЭ по сравнению с другими являются: I) источники сигналов сосредоточены в тонком поверхностном слое, не превышающем I мкм, т.е. они являются в пространстве локализованными, 2) с увеличением дозы осуществляется плавный переход от упругих деформаций к неупругим и постепенному механическому разрушению поверхностного слоя, что позволяет изучать параметры АЭ на соответствующих стадиях управляемого внешнего воздействия.

Полученные результаты показали, что ионная имплантация может использоваться в качестве калибровочного метода для установления связи между природой источников АЭ и характеристиками сигналов АЭ, регистрируемых пьезопреобразователем.

Литература:

I. Бингялене Д.-Ю.И., Адлене Д.И. Экспериментальное исследование акустической эмиссии твердых тел при воздействии ионного облучения.- Научн.труды вузов Лит.ССР. Ультразвук, № I6 (В печати).

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ КОРРОЗИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Ю.Ф. Стрыгин

При изучении процесса коррозии необходимо рассматривать это явление как с точки зрения действия агрессивной среды на поверхность материала, так и с точки зрения изменения структуры. В многочисленных опубликованных работах показано, что структура металла влияет не только на характер коррозионного повреждения, но и определяет скорость коррозионного процесса.

В развитии коррозионного растрескивания большую роль играют подвижные дислокации. Их концентрация на поверхности резко возрастает при контакте этой поверхности с адсорбентом, понижающим поверхностную энергию. Поэтому явление коррозионного повреждения алюминиевых и других сплавов нужно рассматривать как многофакторный процесс, при котором зарождение и миграция дислокаций к потенциальным поверхностям разрушения являетоя важным самостоятельным фактором. В работе [I] убедительно показано значение дислокаций в процессе коррозионного растрескивания различных алюминиевых сплавов.

В настоящее время считается, что одним из главных источников акустической эмиссии является движение дислокаций. Поэтому следовало ожидать, что процесс коррозии будет сопровождатся акустической эмиссией.

В работе описывается функциональная схема установки для регистрации интенсивности сигналов акустической эмиссии при коррозии алюминиевых сплавов. Представлены результаты исследований. Характерная зависимость интенсивности акустической эмиссии от времени коррозии приведена на рис. I.

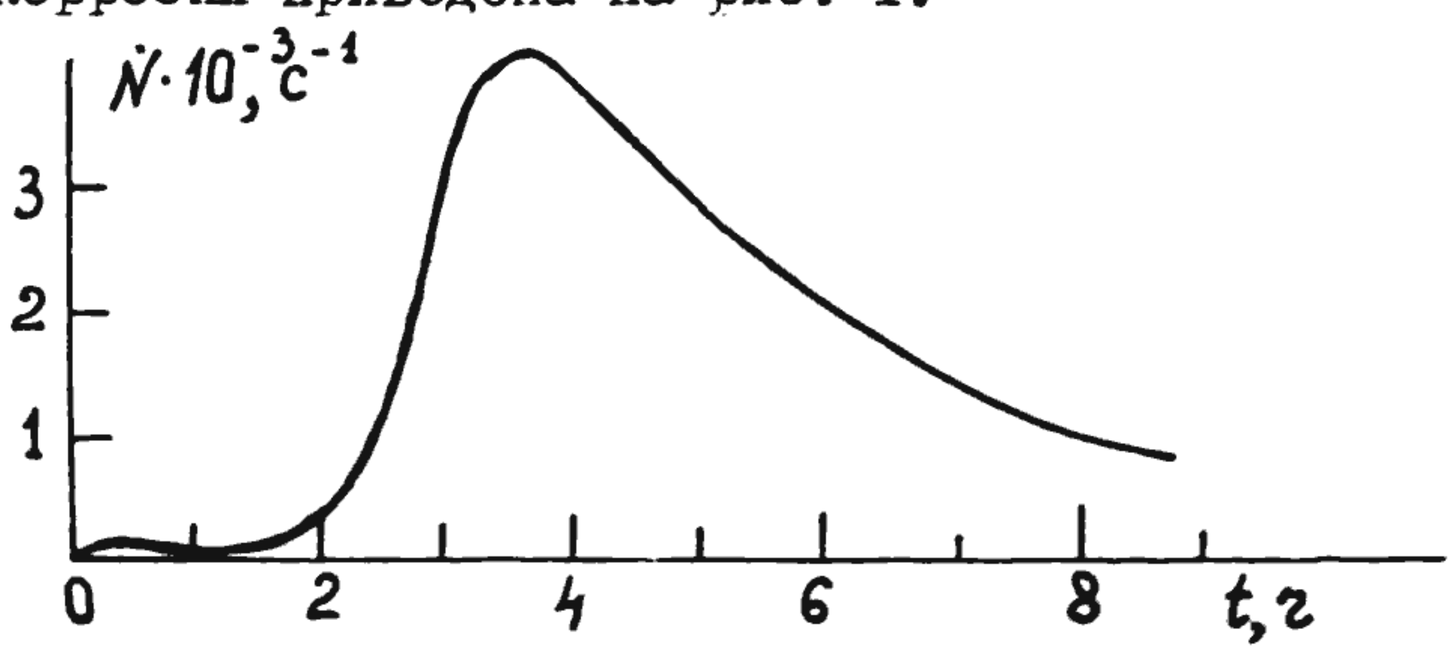


Рис. I.

Одновременно с записью диаграмм производилось измерение электродного потенциала. Исследования проводились при различных температурах и концентрациях агрессивных растворов, с механическими напряжениями и без них, а также в состоянии максимальной прочности и минимальной стойкости к коррозионному повреждению и в исходном состоянии.

С помощью анализатора импульсов АИ-256 изучались гисторамммы распределения импульсов акустической эмиссии по амплитудам. После появления первых импульсов на гистограммах наблюдается небольшое число импульсов малой амплитуды, по величине близких к A_1 Количество таких импульсов со временем увеличивается, а затем появляются импульсы большей амплитуды A_2 . В последующее время количество импульсов возрастает, но большинство их имеют амплитуды, близкие к A_1 и A_2 ./рис. 2/.

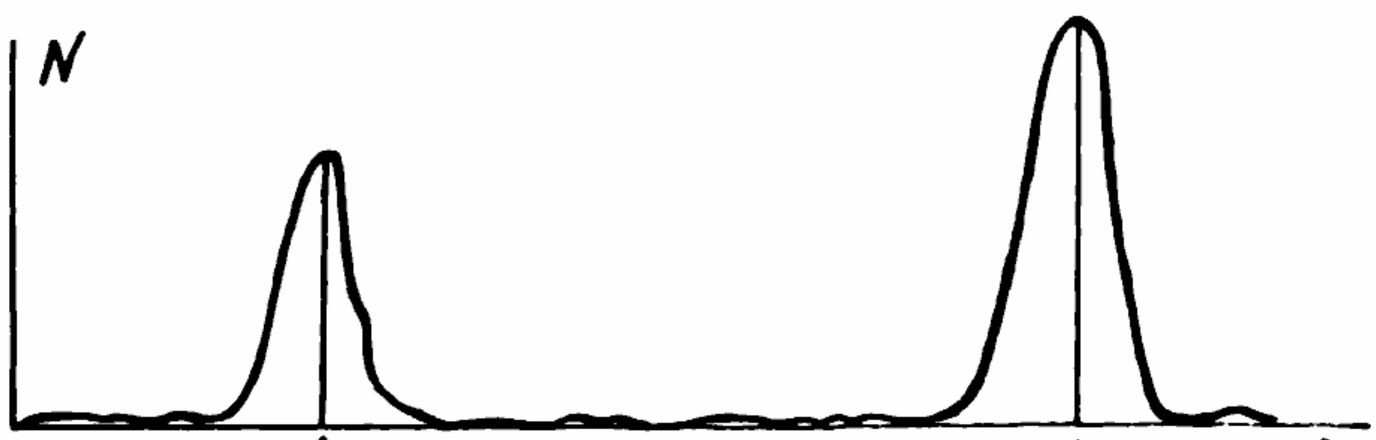


Рис. 2.
Гистограмма распределения имульсов АЭ по амплитудам через два часа после начала коррозии

Восходящие участки диаграмм, интенсивность АЭ - время предлагается объяснить увеличением скорости коррозии, а нисходящие - уменьшением её интенсивности, что может быть связано с явлением пассивации сплава вследствие образования на его поверхности продуктов коррозии. Максимумы на гистограммах объясняются существованием двух энергетических процессов, ответственных за коррозию: электрохимического и механического.

Литература:

I. Н.С. Герчикова. Тонкая структура и коррозионное растрескивание алюминиевых сплавов. М. Издательство "Металлургия", 1982 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЯХ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Н.А.Деев, В.И.Ковалевский, В.А.Клейменов

Задачей настоящей работы явилось изучение возможности использования явления акустической эмиссии (АЭ) для оценки уровня и распределения поверхностных остаточных напряжений, возникающих при термической обработке сталей на высокую прочность. Постановка такой задачи обусловлена тем, что существующие неразрушающие методы оценки указанных напряжений, как правило, не применимы для изделий больших габаритов и сложной геометрии.

Использовали два типа закаленных и отпущенных при 150°С образцов сталей ШХ15 и 50Х: гладкие балочные (тарировочные) и образцы с искусственными концентраторами напряжений (контрольные).

Термообработанные тарировочные образцы нагружали консольно, чем обеспечивался различный уровень напряжений вдоль оси образца. Затем на различных расстояниях от свободного конца образца наносили локализованные электроискровые удары, регистрируя при каждом ударе сигналы АЭ. Последние возникают вследствие пластической деформации и образования микротрещин в окрестностях образующегося при ударе кратера. Расстояние от точки нанесения удара до датчика АЭ и энергию разряда (22 Дж) сохраняли постоянными.

Послойный металлографический анализ окрестностей кратеров показал, что размер областей, охваченных пластической деформацией, и длина микротрещин, приходящихся на единицу площади, коррелируют с уровнем приложенных к образцу напряжений, причем степень корреляции зависела от условий нанесения электроискрового удара: наилучшие результаты получены при ударе, стимулированном маломощным высоковольтным разрядом.

Степень развития пластической деформации и растрескивания в окрестностях кратера, в свою очередь, определяют уровень сигналов АЭ. Последние регистрировались модернизированным измерителем акустических сигналов ИАС-3, который в комплекте с самописцем Н338-6П и частотомером Ч3-38 позволял регистрировать интенсивность уровень, и суммарную АЭ. Сигналы регистрировались в полосе частот 300 - 500 кГц датчиком с резонансной частотой 350 кГц; уровень амплитудной дискриминации составлял 0,04 В при коэффициенте уси-

ления 10^4.

По результатам испытаний тарировочных образцов строили график в координатах "действующее напряжение - суммарная АЭ", так как указанный параметр АЭ обеспечивал наилучшую корреляцию. Далее, с соблюдением всех условий испытаний тарировочных образцов в интересующих точках контрольных образцов наносили электроискровые удары и по тарировочному графику определяли величину остаточных напряжений, возникающих при термической обработке в окрестностях дефектов. Сравнение полученных результатов с результатами рентгеноструктурного анализа тех же образцов показало, что погрешность измерений не превышает 10 % (таблица I).

Таблица I

Тип испытуемого образца	Сталь	Остаточные напряжения, оцененные по данным АЭ (МПа)	Остаточные напряжения, оцененные рентгеновским методом (МПа)
Образец с концентратором в виде отверстия ($R = 3 \cdot 10^{-3}$ м)	ШХ15	28	30
	50Х	23	22
Образец с V -образным надрезом ($R = 1 \cdot 10^{-4}$ м)	ШХ15	42	38
	50Х	34	32

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В.К.Шухостанов

Возросшие требования и ведущая роль в народном хозяйстве дела-
ют машиностроение ареной внедрения новейших технологий, одной из ко-
торых является технология акустической эмиссии.

Методика АЭ должна найти применение при освоении новых материа-
лов, для контроля технологических процессов, отработки технологии сварки и контроля качества сварки, при испытаниях и эксплуатации конструкций.

Анализ, проведенный применительно к машиностроительному произ-
водству, показал, что наиболее актуальна разработка технологии АЭ в следующих направлениях: I) контроль и диагностика сварных конструк-
ций, грузоподъемных устройств, систем и механизмов при пробных на-
гружениях, испытаниях и эксплуатации, 2) течеискание, 3) контроль технологических процессов сборки, гибки, плавки, литья, термической обработки, 4) отработка технологии и контроль качества сварки.

Исследования и разработки в этих направлениях выполнены в про
изводственных условиях с использованием опытных образцов аппаратуры АЭ, созданных НПО "Дальстандарт", ВНИИНКом и др. В результате этой работы сформулированы требования, предъявляемые к аппаратуре АЭ в машиностроительном производстве. Установлено, что аппаратурную базу технологии АЭ должны составлять 3 группы приборов и систем: I) пере-
носные малогабаритные приборы, 2) стационарные системы контроля и диагностики, 3) мобильные лаборатории акустической эмиссии.

Внедрен аппаратурный комплекс, включающий 3 одноканальных при-
бора АЭ (АЭР-IЛ, РПТ-2, серия 3000), двух- четырех- и пятиканальные приборы АМУР-2, АМУР-4, АМУР-5, 3 комплекта шестиканальных приборов АМУР-5, стационарную I28-канальную систему, 3 комплекта установок АМУР-4С и 32-канальную систему "САКС". Создана и вводится в строй 32-канальная лаборатория акустической эмиссии на базе микроавтобуса.

С применением технологии АЭ осуществлены контроль и диагности-
ка более I00 конструкций в процессе их пробных нагружений, испыта-
ний, эксплуатации. Это позволило повысить безопасность испытаний и эксплуатации, обеспечило защиту конструкций от внезапных разрушений, сокращение сроков испытаний, снижение объемов дефектаций, уменьше-
ние затрат на строительство защитных сооружений, транспортировку

конструкций.

Разработаны и внедрены, основанные на технологии АЭ, методики определения несущей способности, эксплуатации конструкций по фактическому состоянию, дефектации сварных швов.

Экономический эффект внедрения технологии АЭ при контроле и диагностике составил 0,5 млн. рублей, а трудоемкость дефектаций, испытаний и др. операций снизилась на 40 тыс. нормо-часов.

Технология течеискания на основе АЭ внедрена для контроля течи в сосудах давления, системах трубопроводов, клапанах арматуры. При этом без демонтажа и разборки систем осуществляется диагностика неисправных клапанов, определяются места течи в труднодоступных местах, в системах с хладоагентами, трубопроводах с повышенными и высокими температурами.

Выявилась недостаточная чувствительность методики АЭ при контроле пневмотечи, некоторых видах гидротечи и необходимость создания течеискателей с повышенной чувствительностью.

Технология АЭ разрабатывается и находит все большее применение в сварке. Проведен контроль I50 сварных швов протяженностью 700 м при сварке 80 конструкций и внедрены: I) послойный контроль методом АЭ особо ответственных сварных швов, 2) контроль повторного образования дефектов при заварке дефектных участков, 3) контроль отслоений и отбраковка деталей с наплавкой из нержавеющей стали, 4) контроль стадий и продолжительности образования дефектов в сварных швах. Разработана принципиальная технология АЭ-контроля в процессе сварки, предусматривающая совмещение операций сварки, технологического и неразрушающего контроля. Созданы 2 опытных производственных участка, где выполняется контроль качества сварки с помощью 32-канальной системы "САКС" и специализированных установок АМУР-4С. Конечная цель этих работ - внедрение технологий АЭ для неразрушающего контроля и идентификации дефектов в процессе сварки.

КОНТРОЛЬ ТОРМОЗНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ТЕПЛОВОЗОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

А.П.Батунер, Я.Г.Фейгин

Анализ причин падения давления в тормозной системе тепловозов показал, что в ряде случаев имеет место разгерметизация главных тормозных резервуаров (ТР) вследствие наличия в сварных швах непроваров , газовых пор и горячих трещин.

Результатами исследований, выполненных ВНИИЖТ совместно с ПО "Брянский машиностроительный завод", явились разработка и внедрение на этом объединении прибора АРТ-IМ и методики контроля качества сварных швов ТР методом акустической эмиссии (АЭ).

Исследования проводились в заводских условиях на стенде,используемом для гидростатического испытания (ТР). Пьезопреобразователь с магнитным креплением (f_o = 0,2 МГц), конструктивно объединенный в один блок с предварительным усилителем (К=40дБ), устанавливался в месте пересечения кольцевого и продольного сварных швов ТР. При нагружении ТР регистрировались изменения скорости счета $\dot{N}$ импульсов АЭ и давления P в контролируемом изделии. Зависимости $\dot{N}=F(P)$ для резервуаров, в сварных швах которых рентгеновским просвечиванием установлено наличие непроваров и газовых пор, приведены на рис.I (кривые I и 2).

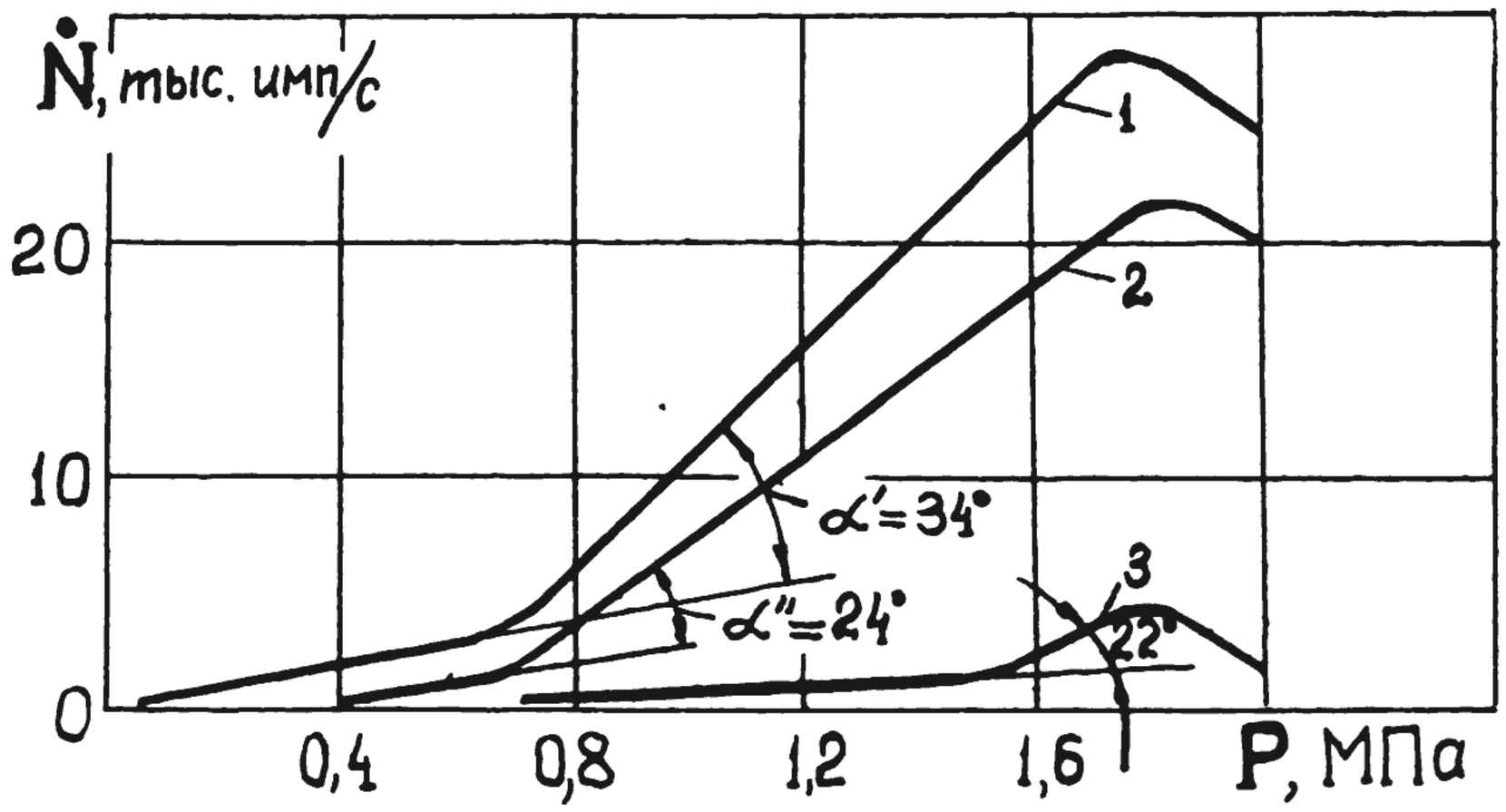


Рис.I. Скорость счета АЭ в сварных швах с непроваром (I), газовой порой (2) и в бездефектных сварных швах (3)

Зависимости $\dot{N}=F(P)$ имеют качественно одинаковый характер: участки медленного увеличения $\dot{N}$ сменяются участками ее резкого возрастания, образуя углы α (α - критерий). Установлено, что при наличии в сварных швах непроваров угол α' существенно больше соответствующего угла α'' при наличии в швах газовых пор ($\alpha'>\alpha''$). В то же время максимальные значения $\dot{N}_{max}$ (N - критерий) оказались одного порядка в случаях как с непроваром, так и с газовой порой в сварном шве, т.е. не позволяют идентифицировать вид дефекта.

Испытания резервуаров, в сварных швах которых рентгеновским просвечиванием не обнаружены дефекты (кривая 3), показали, что для них характерны значительно меньшие значения $\dot{N}$ по сравнению с дефектными ТР. Однако значения α в этом случае практически не отличались от соответствующего параметра при газовой поре в сварном шве. Поскольку при проверке ТР в производственных условиях необходимо, прежде всего, обеспечить надежное выявление дефекта, а не идентификацию по виду его, в основу методики контроля ТР был положен N - критерий.

Внедрение контроля ТР методом АЭ параллельно с их гидроиспытаниями позволило исключить дорогостоящий рентгеновский контроль сварных швов, обеспечивая высокую достоверность результатов контроля. По результатам испытаний и опытно-промышленной эксплуатации прибор АРТ-1М (три комплекта) принят в постоянную эксплуатацию на ПО БМЗ. Экономический эффект - 4,0 тыс.руб. в год на один комплект.

Выводы. 1. Контроль качества сварных швов ТР методом АЭ целесообразно осуществлять с использованием N - критерия, т.е. измерения и сопоставления с браковочным уровнем максимального значения скорости счета АЭ в диапазоне давлений от 0 до 2,0 МПа.

2. В основу методики идентификации дефектов ("непровар" или "газовая пора") может быть рекомендован α - критерий (различие в значениях угла α графика $\dot{N}=F(P)$).

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ОБОЛОЧКИ СОСУДА ДАВЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ГИДРООПРЕССОВКИ

И.В. Гулевский

В докладе описан опыт использования метода акустической эмиссии (АЭ) для контроля целостности участка оболочки крупногабаритного сосуда давления в процессе гидроопрессовки. Материал оболочки – листовой прокат стали 20К.

Предварительные исследования включали испытания образцов, имеющих усталостную трещину, с параллельной регистрацией зависимости числа импульсов АЭ от нагрузки и распределения амплитуд импульсов. Были определены условия начала подрастания трещины и разброс зависимостей числа импульсов АЭ от нагрузки. На основе полученных данных была определена нижняя граница числа АЭ-событий, соответствующая наступлению критической ситуации в контролируемой зоне. Критические условия определялись как наличие в контролируемой зоне трещины, имеющей критический размер при максимальном давлении во время опрессовки, и её стабильное подрастание до размеров сквозной.

Для ограничения контролируемой зоны на оболочке был использован метод пространственно-временной селекции. Коэффициент усиления каналов аппаратуры определялся с учетом вида распределения амплитуд импульсов АЭ и затухания акустических сигналов в пределах контролируемой зоны. Целостность оболочки контролировалась в процессе налива оболочки водой и приложения избыточного давления.

АНАЛИЗ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ С ОСОБЕННОСТЯМИ РАЗРУШЕНИЯ И ПРОЧНОСТЬЮ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Б.Милешкин, Е.И.Музыка, И.В.Библик

При исследовании особенностей разрушения стекло- и органопластиковых цилиндрических оболочек с днищами было установлено /I/, что при ступенчатом нагружении регистрация такого параметра АЭ, как число импульсов за время выдержки, позволяет качественно судить о последовательности протекания процесса разрушения и количественно прогнозировать прочность оболочек, подвергая их контрольному нагружению до давления, не превышающего половины разрушающего.

В настоящей работе исследования в этом направлении продолжены для случая непрерывного нагружения. Регистрация активности и общего числа импульсов АЭ проводилась в цифровой форме по 9 уровням амплитудной дискриминации (I0–800 мкВ) при помощи комплекса М400, при этом непрерывно регистрировались как параметры АЭ, так и параметры нагружения (внутреннее давление в оболочке и время).

Типичные зависимости изменения N_Σ (кривая I) и $\dot{N}_\Sigma$ (кривая 2) от давления в оболочке схематически показаны на рис. I. Качественно они подобны таким зависимостям для ступенчатого нагружения /I/, но при непрерывном нагружении регистрируется значительно большее число импульсов АЭ, что часто приводит к насыщению каналов с низким уровнем амплитудной дискриминации.

Немонотонный характер изменения $\dot{N}_\Sigma$ свидетельствует о протекании различных видов разрушения оболочки, при этом на участке АВ ведущим видом является разрушение матрицы, особенно сильно протекающее в кольцевых слоях, а на участке СД – разрыв волокон.

Анализ амплитудного распределения импульсов АЭ не позволяет однозначно разделять виды разрушения. Однако такое разделение крайне необходимо, поскольку влияние каждого вида на прочность оболочки индивидуально.

С целью выделения степени развития двух основных видов разрушения на конкретных этапах нагружения и их соотношения в общем процессе разрушения необходимо привлечение модельных представлений. Например, зависимость $\dot{N}_\Sigma = f(P)$ (рис. I, кривая 2) можно объяснить на основе работы четырехэлементной реологической модели, вложив однако в работу отдельных элементов новый физический смысл. Тогда изменение общего числа импульсов АЭ (рис. I, кривая, I) может быть описано сле-

дующим соотношением:

$$N_\Sigma = C_1 P + P t F + C_2 P \left[1 - \exp\left(-\frac{R t}{C_2}\right)\right], \qquad (I)$$

где N_Σ - общее число импульсов АЭ; P - внутреннее давление в оболочке; t - время с начала нагружения; C_1 и C_2 - константы, связанные с модулями упругости материала оболочки; F - степень разрушения матрицы; R - степень разрушения волокон.

Определение величин F и R, а следовательно и скорости разрушения, возможно только с некоторыми первоначальными допущениями (например, $R = 0$ на участке AB_1), основанными на учете физического характера разрушения, с проведением последующих уточненных вычислений. Учет скорости протекания основных видов разрушения позволяет более обоснованно подходить к прогнозированию прочности оболочек.

В случае ступенчатого нагружения вышеизложенный подход позволяет производить прогнозирование прочности по относительному изменению параметров АЭ, связанных с разрушением материала в результате упругого последействия при переходе к режиму постоянного давления. Оценка механического состояния полимерных композиционных материалов по скорости разрушения при упругом последействии позволяет значительно расширить область применения АЭ, поскольку становится возможным определение механических характеристик после любых неконтролируемых воздействий. В настоящей работе такой подход реализован при оценке остаточной прочности стеклопластиковых образцов после циклического нагружения.

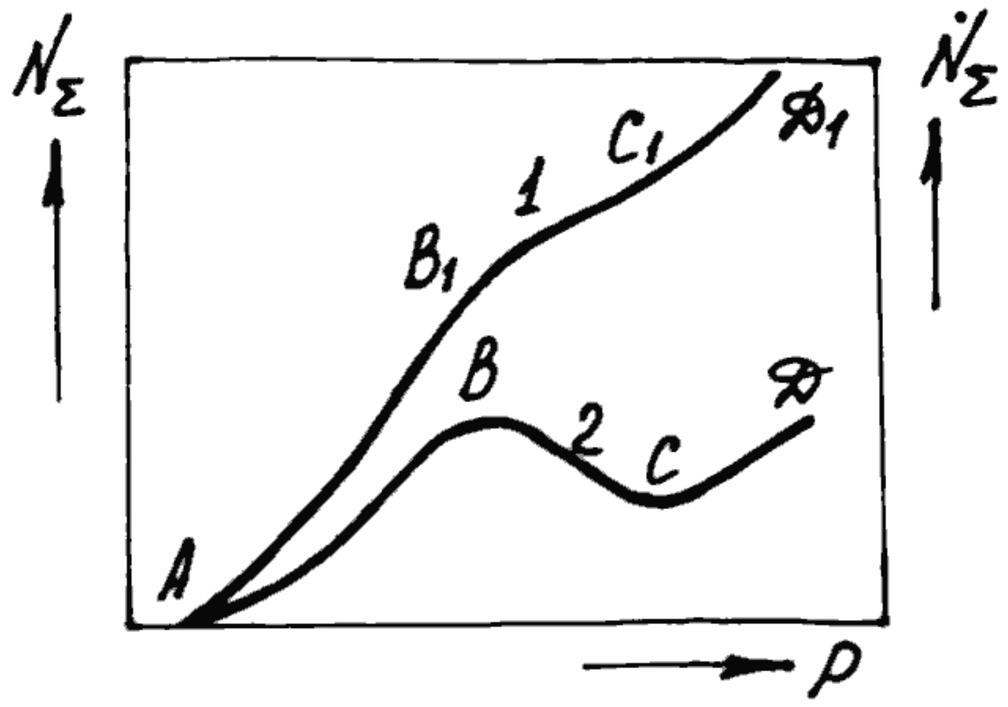


Рис. I

Литература:

I. Исследование особенностей разрушения стекло- и органопластиковых цилиндрических оболочек с днищами /И.С.Гузь, М.Б.Милешкин, Е.И.Музыка, С.В.Жученко, Е.В.Каневская, И.В.Библик.- Механика композитных материалов, 1981, № 4, с. 631-636.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОТРАБОТКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ ЕМКОСТЯХ ИЗ МЕТАЛЛА.

В.Г. Тихий, А.Я. Недосека, Т.Ф. Барановская, Б.А. Надолинный, Н.В. Горлицын, Ю.В. Жбанов, В.Г.Ситало.

Наибольшую опасность для несущей способности сварных конструкций представляют трещиноподобные дефекты типа окисных плен, непроваров, трещин. В то же время распространенный рентгенографической метод контроля качества сварных швов недостаточно чувствителен к таким дефектам.

Высокой чувствительностью к развивающимся трещиноподобным дефектам обладает метод акустической эмиссии (АЭ).

Отработка АЭ метода контроля и определения координат дефектов в сварных емкостях проводилась на базе информационно-измерительной системы технической диагностики (ИИСТД).

Система представляет собой сложный автоматический измерительный и счетнорешающий комплекс, предназначенный для определения координат развивающихся дефектов в сварных конструкциях и оценки степени их опасности по сигналам АЭ в реальном масштабе времени при прочностных пневмо- или гидроиспытаниях [I].

ь Контролю АЭ подвергались сварные емкости. Системой ИИСТД проведен АЭ-контроль нескольких десятков сварных емкостей, не содержащих недопустимые технологические дефекты сварки. Контроль проводился в процессе пневмоиспытаний емкости. При этом координаты точек, в которых наблюдались импульсы АЭ, вычислялись и привязывались к соответствующим ячейкам условий разбивки поверхности емкости, а для каждой пары вычисленных координат X и У подсчитывалось количество поступивших сигналов на одном временном сечении (активность АЭ), суммировалось количество импульсов АЭ с начала нагружения (N), определялась усредненная амплитуда импульсов для каждого временного сечения (А) и энергия импульсов АЭ ($U=\sum_{i}^{n} N_i A_i^2$).

В половине емкостей были обнаружены локальные зоны концентрации АЭ, координаты которых в 60 % совпадают с технологическими дефектами сварки, допустимыми по данным рентгенконтроля. Локальным зонам АЭ соответствовали следующие дефекты : поры, вольфрамовые включения, непровары, а также зоны остаточных напряжений, вызванные подварками недопустимых дефектов. Максимальное суммарное количество импульсов в зоне концентрации АЭ - 20, амплитуда импульсов 0,08 ÷ I,5 В, мак-

симальная суммарная энергия - I5 относительных единиц. В остальных емкостях локальных зон не обнаружено.

Кроме этого проведен АЭ контроль нескольких емкостей с искусственными недопустимыми технологическими дефектами сварки - непроварами с вольфрамовыми включениями. Координаты этих дефектов были определены с погрешностью не хуже 50 мм. При этом были зафиксированы довольно высокие уровни АЭ: суммарное количество импульсов находилось в пределах 84-I89 импульсов, средние значения амплитуды колебались от 0,94 до I,9 В, суммарная энергия импульсов АЭ из локальной зоны от 76 до I58 ус.ед.

На рис.I приведен участок поверхности емкости, где был расположен непровар ℓ = 200 мм и вольфрамовое включение ϕ 9 мм

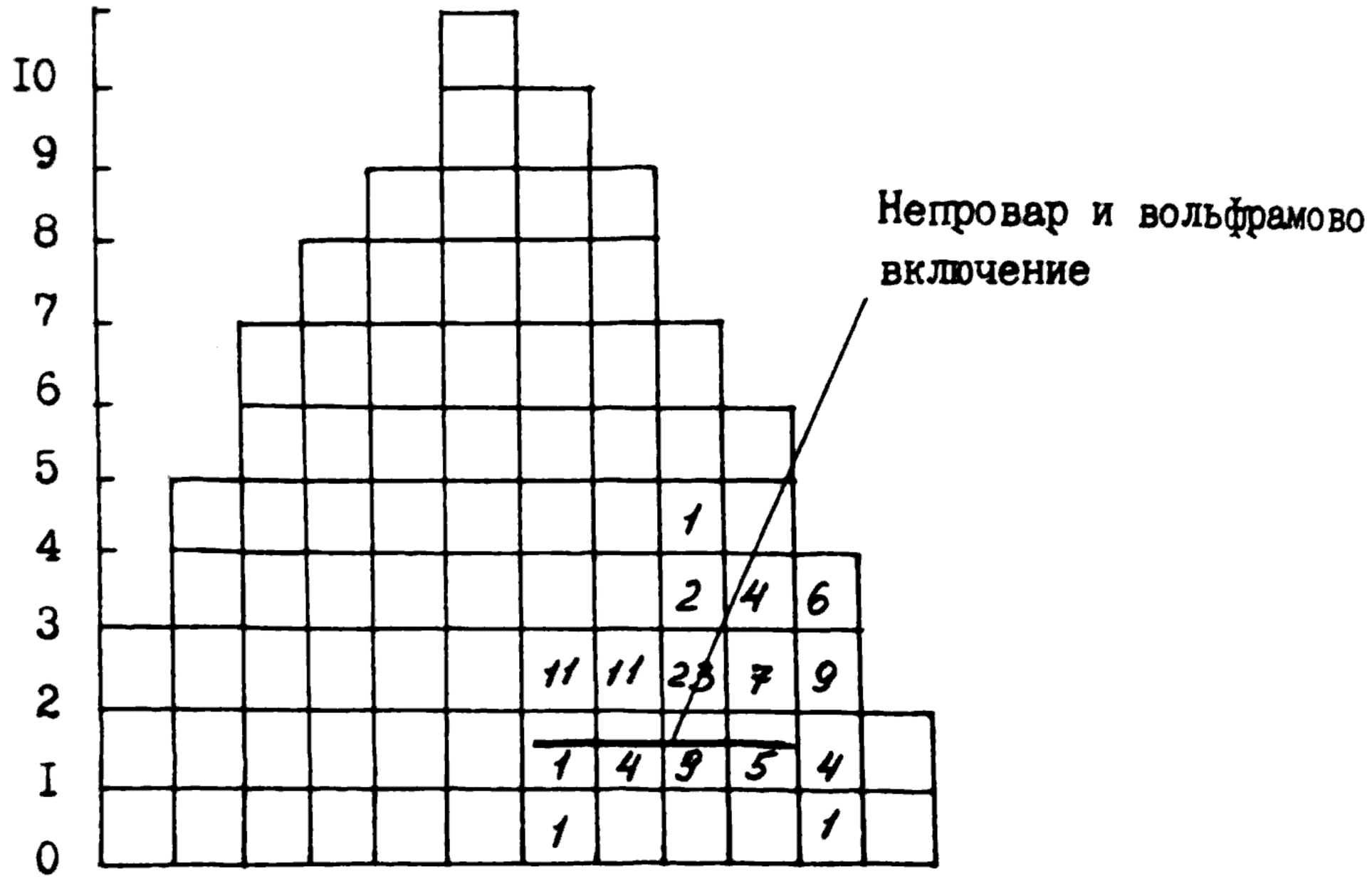


Рис.I. Акустическая эмиссия на участке емкости с непроваром и вольфрамовыми включениями.

Максимальные значения АЭ параметров, полученные на емкостях с недопустимыми дефектами сварки, приняты в качестве порогового уровня оценки качества: суммарное количество сигналов АЭ из локальной зоны - 20; средняя амплитуда импульсов - I,56 В; энергия импульсов - I5 ус.ед.

ЛИТЕРАТУРА:

I. А.Я.Недосека, А.А.Грузд, Л.Ф.Харченко, Ю.Г.Куценко "О контроле возникновения и развития дефектов при гидроиспытаниях сварной емкости". Автоматическая сварка, I98I, № 9 (342), с.5-9.

ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОНАПРЯЖЕННОГО СВАРНОГО СОСУДА ДАВЛЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ АЭ-СИСТЕМОЙ

В.К.Шухостанов, Б.Я.Маслов, Е.В.Несмашный

В современных сварных сосудах давления - котлах, цистернах, резервуарах - рабочие давления и полезные объемы постоянно возрастают. Это вызывает необходимость применения при изготовлении сосудов сталей повышенной и высокой прочности, ведет к увеличению толщин и размеров сосудов. Насыщенность сварными швами, наличие различных сварных деталей, большие рабочие давления делают сосуды высоконапряженными конструкциями, в которых реальные коэффициенты запаса не превышают I,2 - I,5.

Между тем, эти сосуды представляют собой уникальные, дорогостоящие, единично изготавливаемые сооружения[1].

В связи с ростом количества и разновидностей технических объектов первого класса возникла и становится все более актуальной проблема защиты этих объектов от внезапных разрушений, обеспечения их безопасности, длительной и эффективной эксплуатации. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является диагностика высоконапряженных сварных сосудов давления многоканальными системами акустической эмиссии.

Подобная I28-канальная стационарная система в течение 2-х лет используется для эксплуатационного контроля и диагностики крупногабаритного толстостенного сварного резервуара. Предварительно с помощью "малых" (четырех, пяти и шестиканальных) систем выполены исследования и отработаны методики периодической и сканирующей диагностики сварных швов резервуара. На основе этих исследований разработана и реализована технологическая схема непрерывной диагностики резервуара. Схема предусматривает применение специализированной многоканальной АЭ-системы и трех критериев, названных критериями безопасного и опасного состояния резервуара. Диагностика любого из трех состояний проводится по данным о суммарном числе, энергии и координатах сигналов акустической эмиссии. За критерий безопасного состояния принимается отсутствие сигналов АЭ, низкие уровни числа и энергии сигналов, отсутствие локализованных источников АЭ. Предопасному состоянию соответствует появление активных областей (АО), т.е. локализованных источников АЭ, в которых наблюдается группировка и повышенный уровень энергии и числа сигналов АЭ.

Диагностика опасного состояния осуществляется путем анализа и классификации активных областей. Для этого по зависимостям энергии и числа импульсов от времени и уровня нагрузок анализируется каждая из активных областей. На этой основе активные области классифицируются на стационарно активные (СА), периодически активные (ПА) и эпизодически (случайно) активные (ЭА) области.

Опасное состояние конструкции определяется как состояние, при котором выявляются стационарно активные области.

При выявлении таких областей принимается решение о снижении уровня нагрузок либо приостановке эксплуатации и назначении инспекции стационарно и периодически активных областей. В последующем по результатам инспекции проводится подкрепление или ремонт стационарно активных областей конструкции.

Диагностика резервуара по подобной схеме показала, что при наиболее часто применяемых давлениях, равных 0,3–0,7 испытательного, конструкция находится в безопасном состоянии. При давлениях, равных 0,8 - I,0 испытательного, в конструкции выявлено II0 активных областей. Среди них 27 областей классифицированы как периодически активные, а 2 области проявляют тенденцию к переходу в стационарно активные области.

На основании этих результатов назначена и проводится инспекция периодически активных областей конструкции.

Диагностика резервуара с помощью многоканальной АЭ-системы обеспечила определение его фактического состояния, установление моментов и условий наступления предопасного состояния, повысила безопасность эксплуатации конструкции.

Одновременно возросла и эффективность эксплуатации резервуара за счет отказа от трудоемких периодических I00-процентных дефектаций сварных швов. Вместо этого введена и проводится дефектация только стационарно и периодически активных областей конструкции, выявленных при диагностике. При этом реальные объемы дефектации уменьшились до I,5 процента, продолжительность одной дефектации сократилась на 3–4 месяца, резко снизились затраты, связанные с проведением дефектаций.

Литература:

I. В.Гаспарский. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок. М., "Мир", I978.

ОЦЕНКА ДЕФЕКТНОСТИ СОСУДОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В.И.Иванов, С.П.Быков, А.Н.Рябов

На данном этапе развития метода АЭ не представляется возможным по одному принятому сигналу судить об источнике излучения (дефекте), определить степень опасности. Для этого необходима совокупность событий, по которой можно сделать соответствующие оценки.

При обработке результатов АЭ-контроля необходимо проделать следующие операции: сгруппировать события по источникам и оценить источники по критериям бракования.

Для идентификации источника излучения с некоторой выборкой событий необходим критерий (мера подобия), по которому можно оценить разделение множества событий на группы. В данной работе использовались два критерия группировки: среднее расстояние до ближайшего соседа d и среднеквадратичное отклонение δ , полученное из предварительных экспериментов на той же конструкции с имитатором сигналов АЭ.

Классификация источников проводилась по критериям, описанным в работе / I /. Эксперименты проводились на крупногабаритных моделях сосудов высокого давления из стали I5X2HMФA в процессе гидроиспытаний. Для регистрации сигналов АЭ использовалась многоканальная система модели I032 фирмы "Данеган-Эндевко".

Перед проведением гидроиспытаний сосуды контролировались ультразвуковым методом. В продольном шве сосуда № 2 был обнаружен протяженный непровар, в сосудах № 3 и № 4 дефектов не обнаружено. При гидроиспытаниях сосуда № 2 методом АЭ обнаружен источник излучения, местоположение которого совпадает с результатами УЗ-контроля. Зарегистрированные события, возникающие в процессе развития данного дефекта, образовали компактную группу, на данной стадии нагружения этот дефект классифицируется по критериям оценки как катастрофический. Это подтверждается разрушением сосуда по этому дефекту при нагрузке, много меньшей испытательной.

Сосуды № 3 и № 4 нагружались до испытательного давления, при этом в конце нагружения зарегистрировано большое число событий на значительной части поверхности сосудов. На первом этапе проведена отбраковка событий по первому критерию группировки d . Это позволило выделить несколько больших групп событий. Применение второго критерия δ показало, что эти группы не принадлежат к одному источнику, а являются совокупностью многих. Применение

критериев оценки к большим группам (что является ужесточением критериев) позволяет классифицировать их как активные, но не катастрофические. Все это позволило сделать вывод о том, что события связаны с пластическими деформациями на внутренней стенке сосуда. Повторный УЗ-контроль не выявил дефекты в зонах активного излучения.

Проведенные работы показали, что критерии, описанные в / I /, могут быть использованы для оценки дефектов в сосудах высокого давления при условии проведения предварительной группировки событий по источникам. Результаты группировки являются одним из критериев оценки источников. При большом числе событий и плохой компактности групп необходимо сначала провести отбраковку событий по критерию α , а затем применять критерии δ .

Литература:

I. Иванов В.И., Быков С.П., Рябов А.Н. О критериях оценки степени опасности дефекта. "Дефектоскопия", 1984 г.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.М.Белов

В настоящее время почти вся добываемая в стране нефть транспортируется по магистральным трубопроводам. В связи с интенсивным развитием сети нефтепроводов, повышением производительности нефтепроводных систем, связанным с вводом в эксплуатацию трубопроводов диаметром I020, I220 мм, строительством нефтепроводов в районах Крайнего Севера и Западной Сибири со сложными природно-климатическими условиями, "старением" трубопроводов, увеличением безвозвратных потерь нефти при транспортировании и хранении, а также усилением экологической дисциплины в нефтепроводном транспорте возникла комплексная проблема повышения надежности и безопасности эксплуатации магистральных нефтепроводов.

Важная роль в решении указанной проблемы принадлежит ускоренному созданию эффективных систем оперативного контроля и прогнозирования утечек нефти и нефтепродуктов из магистральных нефтепроводов, которые позволят своевременно предотвращать аварийные ситуации.

Одним из наиболее перспективных направлений является разработка приборов и систем оперативного контроля и прогнозирования утечек нефти и нефтепродуктов из магистральных трубопроводов с использованием метода АЭ. Метод АЭ позволяет не только обнаруживать и определять местоположение утечек нефти и нефтепродуктов в трубопроводах, но и прогнозировать потенциальные утечки, т.е. регистрировать появление и развитие повреждений в стенках трубопровода.

За рубежом применение метода АЭ для диагностики трубопроводов успешно ведется в США, Канаде, Японии, Англии, Франции, ФРГ, Швейцарии и т.д. Ведущими компаниями в этой области являются фирмы: "Акустик эмишн Интернешнл Корп.", "Акустик эмишн текнолоджи Корп.", "Акустик эмишн лик локейтор Корп.", и "Данеган" в США, "Канадский Центр дистанционного контроля" в Канаде, "Акустик эмишн консалтенд Лимитед", "Спектра-тек" и "Юнит

инопекшн Ко", в Англии, „Пиплин сервис", „СЕТИМ" и „Метравиб" во Франции, „Салзер" в Швейцарии, „Кутиньо, Каро и Ко" и „Университет в Дортмунде" в ФРГ, „Ниппон стил" , „Ниппон Кокан" и „Синихон Сейтетцу" в Японии и др. Вышеперечисленные компании располагают значительными научно-техническими достижениями в указанной области, включал разработку акустикоэмиссионной аппаратуры и прогрессивной технологии контроля магистральных трубопроводов при их испытаниях и эксплуатации.

Разработкой и внедрением средств акустикоэмиссионной технологии в Миннефтепроме занимается лаборатория акустикоэмиссионной диагностики.

Подробно описаны результаты применения разработанных в лаборатории приборов АЭ-I, АЭ-2 и передвижной акустикоэмиссионной лаборатории на экспериментальных стендах и в эксплуатационных условиях.

Одним из недостатков метода АЭ является пока еще его высокая стоимость. По данным американского ученого Д.Пэрри стоимость контроля I км трубопровода диаметром 600 мм составляет 3 тыс. долларов.

Но перспектива развития метода, создание более современных приборов, многоканальных систем, установка стационарных датчиков АЭ на вновь построенные трубопроводы, применение для обработки результатов микропроцессорной техники обещают перевести этот перспективный метод в ряд достаточно экономичных.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

В.А. Лукьяненко, В.Ф. Злепко, В.И. Гладштейн

При эксплуатации высокотемпературных паропроводов особую опасность представляют макродефекты в виде трещин или местных утончений, образующих участки с высокой скоростью деформации. В работе проведено исследование информативных параметров акустической эмиссии (а.э.) определяющих развитие таких макродефектов. Материалом исследований послужил металл труб из стали I2XIMФ и I5XIMФ и литого колена из стали I5XIMIФЛ, а также натурные участки паропроводов из стали I2XIM I2XIMФ.

Акустический тракт прибора представлял собой волновод из нержавеющей стали диаметром 3 мм и длиной около метра, на одном конце которого размещается приемный датчик, а другой приваривался к образцу. Чувствительность прибора I0 мкВ в полосе регистрации 500-800 кГц. Зависимость параметров а.э. от скорости деформации при ползучести исследовалась на гладких цилиндрических образцах с доведением их до разрушения (σ/σ_s=0,9 ÷ I,I ; T =585°C). Установлена количественная зависимость между деформацией ползучести и суммарным счетом а.э. (N) :

$$N = A\varepsilon^{\kappa}, \qquad (I)$$

где A и κ - коэффициенты, зависящие от отношения σ/σ_s.

Измерения показали, что величина $\kappa \sim 1/\tau_p$, что позволяет использовать формулу (I) для оценки длительности испытания (τ_p) образца, не доводя его до разрушения. Дифференцируя (I) по времени, получим :

$$\dot{N} = A\kappa\dot{\varepsilon}/\varepsilon^{1-\kappa}. \qquad (2)$$

То есть скорость счета а.э. ($\dot{N}$) будет определяться локализацией пластической деформации. Значение A характеризует активность а.э. ($\dot{N}_\Sigma$) материалов в данных испытаниях.

Закономерности изменения параметров а.э. при развитии трещин в условиях длительного статического нагружения определялись при испытании цилиндрических образцов с кольцевым надрезом.

Характерной особенностью регистрации а.э. для образцов с надрезами является практически отсутствие сигналов а.э. на стадии образования трещины небольшой длины (начальная стадия /I/). На переходном периоде (ускоренная стадия) к лавинному разрушению происходит увеличение количества регистрируемых импульсов а.э. и их амплитуд. При металлографическом и фрактографическом исследовании характера

развития трещин в образцах из стали I5XIMIФЛ показано, что возрастание параметров а.э. на ускоренной стадии связано с изменением механизма разрушения, когда начинает возрастать роль дислокационных процессов в механизме роста трещины. Лавинная стадия (долом образца) характеризуется регулярностью импульсов а.э. больших амплитуд (I50--500мкВ), нарастанием скорости счета к моменту разрушения, и появлением периодов непрерывной регистрации (ПНР)акустической эмиссии, которые определяются как промежутки времени, в течение которых скорость счета а.э. не меньше заданной величины. Как правило, эта величина на порядок выше $\dot{N}$ на ускоренной стадии. ПНР определяют моменты интенсивного протекания вязкого разрушения на лавинной стадии роста трещины.

Испытания натурных паропроводных участков из стали I2XIMФ в условиях ползучести на базе до $I2 \cdot I0^3$ часов (σ =62... 273 МПа, T = 585 и 620°C) показали, что по характеру регистрации а.э. весь процесс испытания до момента разрушения можно разделить на четыре периода,соответствующих различным стадиям развития повреждаемости металла. Так же как и на образцах основным информативным признаком развития трещин и высокой скорости деформации участков паропроводов (единицы процентов в час) является наличие ПНР. Амплитудные распределения, зарегистрированные в эти периоды, будут определять плотность вероятности амплитуды полезного сигнала.

Полученные результаты были использованы при разработке методики и аппаратуры эксплуатационного контроля гибов паропроводов горячего пара и промперегрева I-го и 2-го блоков Каширской ГРЭС /2/.

Литература :

I. В.И. Гладштейн. Методика определения критического раскрытия трещины при ползучести. Заводская лаборатория, I98I, I2,с.54-57.
2. В.М. Баранов, В.С.Гребенник, В.Ф. Злепко, В.А.Лукьяненко. Об использовании метода акустической эмиссии для эксплуатационного контроля главных трубопроводов электростанций. В кн.:"Современные физические методы неразрушающего контроля", М.,МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, I984, с.75-79.

АКУСТИКОЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ С ТРУБНЫМИ ДОСКАМИ

В.М.Белов

Соединение труб с трубными досками является одним из наиболее ответственных узлов теплообменных аппаратов (конденсаторов, маслоохладителей, эжекторов), так как определяет надежность работы конструкции в целом. Этот узел обычно состоит из двух трубных досок толщиной 20-I50 мм и вваренных в них труб диаметром 9-32 мм. Большую трудность представляет собой контроль дефектности сварных швов соединения труб с трубными досками вследствие сложности конструкции: малого диаметра труб и малого расстояния между ними, а также большой толщины трубной доски. Известные способы неразрушающего контроля не обеспечивают качества сварных соединений труб с трубными досками вследствие присущих данным способам недостатков [I,2] .

В докладе описан комплект аппаратуры,позволяющий вести контроль дефектности сварных швов в процессе сварки и последующего охлаждения методом АЭ. Подробно приведены результаты экспериментов при сварке сварных соединений из титановых сплавов и стали 08Х18Н10Т,выполненных сварочными автоматами АГ6-25 и "Орбита".

Одной из причин нарушения плотности и прочности закрепления труб в трубных досках теплообменных аппаратов является интенсивное колебание труб в результате действия аэродинамических сил и термических напряжений при резких перепадах температур (термокачках).

Для изучения механизма нарушения плотности соединений в условиях сложнонапряженного состояния под действием повышенных растягивающих напряжений и высоких тепловых потоков создан экспериментальный стенд. В докладе подробно описаны результаты экспериментов на макетах теплообменников при гидроиспытании и термокачках.

Анализ параметров АЭ показал, что наиболее информативными параметрами при контроле дефектов типа трещин является амплитудный анализ и число импульсов.

Сформулированы требования и изготовлены производственные приборы типа АРД-3I, АРД-4I и ИЛК-I, а также датчики и приспо-

собления к ним, обеспечивающие проведение контроля изделий труб с трубными досками в производственных условиях.

Исследования, проведенные системой 3000 фирмы Данеган/Эндевко и прибором ИЛК-I на трубных досках диаметром до I,2 м , выявили возможность определения координат дефектов с точностью, незначительно уступающей точности определения координат на плоских листах.

Проведенные исследования позволили установить некоторые особенности процесса излучения сигналов АЭ при образовании трещин в сварном соединении труб с трубными досками. Путем моделирования геометрических условий при образовании трещин установлен направленный характер излучения от трещин, что позволило дать рекомендации относительно места установки приемного пьезопреобразователя и установить его необходимую чувствительность.

Разработаны методики неразрушающего контроля труб с трубными досками методом АЭ в процессе сварки, охлаждения, двухосного нагружения и термокачек.

Приведен расчет экономической эффективности применения метода АЭ в процессе производства сварных соединений труб с трубными досками.

Приборы и методики проверены в лабораторных условиях и внедрены на заводах.

Литература:

I. В.И.Иванов, В.М.Белов. Акустикоэмиссионный контроль сварки и сварных соединений. М.: Машиностроение, I98I, I84 с.

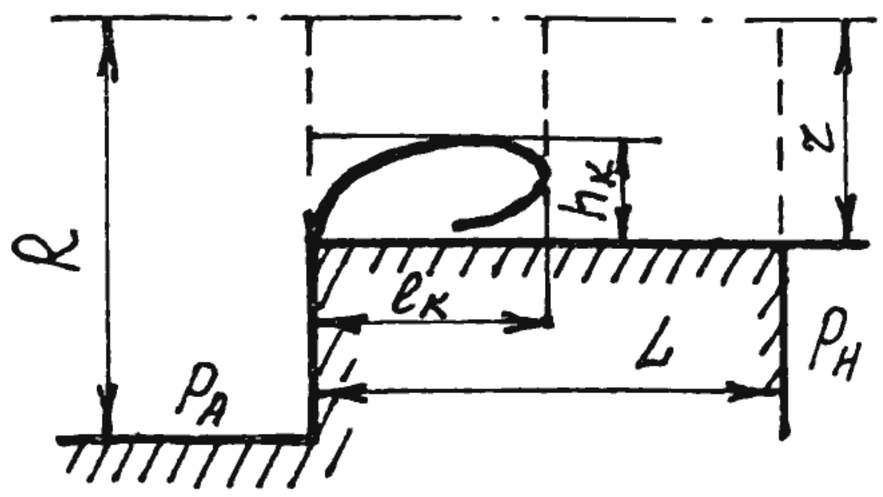
2. П.А.Андреев и др. Теплообменные аппараты ядерных энергетических установок, Л.: Судостроение, I965. I45 с.

МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ УТЕЧКАХ ЖИДКОСТИ В ЗАДАЧАХ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ

Ю.Б.Дробот, В.В.Лупанос

Акустико-эмиссионная аппаратура используется для обнаружения не только дефектов типа развивающихся трещин, но и для утечек жидкости через малые несплошности. Построение моделей источников акустических сигналов при утечках важно как для повышения помехоустойчивости существующей акустико-эмиссионной аппаратуры, так и для правильного ее построения и применения в задачах течеискания.

В [I] было показано, что одним из основных механизмов генерации акустических сигналов при утечках является гидродинамическая кавитация.



Если рассматривать модельную несплошность в виде плоской щели шириной $2z$ и длиной L, то параметры кавитационного течения для идеальной жидкости можно найти с помощью методов теоретической гидромеханики на основе теории функций комплексной переменной. Решение задачи для случая стационарного кавитационного режима выполнено для замыкания хвостовой части каверны по схеме Д.А.Эфроса с обратной струйкой методом Н.Е.Жуковского. При этом размеры каверны (длина $l_к$, высота $h_к$) получены в виде функций только геометрических параметров, поле давлений зависит дополнительно от давлений на входе $p_д$ и выходе $p_н$ щели. Поле скоростей определяется дополнительно и плотностью жидкости. Этот результат противоречит опыту, поэтому для выяснения зависимости размеров каверны от перепада давлений использовано эмпирическое описание зависимости расходной характеристики щели от перепада давлений. В итоге получены функции

$$l_к = l_к(p_д, p_н, R, z); \quad h_к = h_к(p_д, p_н, R, z). \qquad (I)$$

Для нестационарного кавитационного режима псевдозвуковое давление жидкости на стенки щели оценено по схеме Л.А.Эпштейна [2],

описывающей колебания хвостовой части каверны из-за периодического заполнения обратной струйкой части объема каверны.

Акустическое воздействие жидкости на стенки щели определяются путем нахождения собственных частот столба жидкости, образующегося в щели при аппроксимации сечения каверны, показанного на рисунке, прямоугольником $\ell_к \times h_к$. При этом стенки и левая (на рисунке) "крышка" имеют конечные акустические проводимости, а правая "крышка" - абсолютно мягкая. Собственные частоты имеют вид функций, зависящих, в частности, от геометрических параметров щели:

$$\omega_к = \omega_к(L, \ell_к, h_к) \qquad (2)$$

Каверна, как широкополосный источник колебаний, наиболее сильно возбуждает акустические колебания на указанных собственных частотах. Таким образом, в спектре регистрируемого акустического сигнала от течи можно выделить узкополосные составляющие, соответствующие $\omega_к$. Тогда совместное решение (I), (2) позволяет определить параметры щели и, следовательно, величину утечки.

Предложенная модель позволяет также установить диапазоны существования кавитационного режима, а также влияние на уровень акустического сигнала величины противодавления, типа приемной среды и других параметров. Экспериментальная проверка показала удовлетворительное совпадение теоретических расчетов с опытными данными.

Литература.

I. Ю.Б.Дробот, В.В.Лупанос, В.В.Билибин. Исследование акустической эмиссии при истечении воды в атмосферу через отверстия малого диаметра. - Дефектоскопия, 1981, № 4, с. 68-75.

2. Л.А.Эпштейн. О механизме пульсационных процессов в концевой области присоединенных каверн. - В кн.: Сб.докладов симпозиума по физике акусто-гидродинамических явления. М., Наука, 1975, с. 133-137.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ КОНТРОЛЕ УТЕЧЕК В ПОДВОДНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Б.М. Лапшин, В.В. Янисов

Акусто-эмиссионное (АЭ) течеискание в комплексе с гидравлической опрессовкой является одним из эффективных способов поиска утечек в подводных трубопроводах, находящихся под слоем грунтовых засыпок. Вместе с этим для оценки степени потенциальной опасности дефектов помимо определения местоположения утечки необходимо идентифицировать дефект по форме и размерам.

В докладе представлены результаты исследования спектральных характеристик сигналов АЭ при истечениях воды через небольшие калиброванные отверстия. Эксперименты проведены в естественном водоёме при избыточных давлениях в трубопроводе от 0 до 5 МПа и различных типах отверстий щелевой и цилиндрической формы при расположении преобразователя в воде с внешней стороны трубопровода. Установлено, что низкие избыточные давления (до 0,5 МПа) сопровождаются сигналами АЭ малой амплитуды и частотным спектром, ограниченным I0-I5 кГц, характеризующимитурбулентный режим истечение жидкости из утечки. Основным процессом, инициирующим АЭ утечкой при гидравлической опрессовке избыточным давлением выше I МПа, является кавитация, при этом сигналы АЭ лежат в диапазоне 20-500 КГц и сопровождаются высоким уровнем звукоизлучения. Эксперименты показали, что при поисках утечек в подводных трубопроводах оптимальным частотным диапазоном следует считать 30 - I50 КГц. Измерение мощности сигналов АЭ позволяют обнаруживать утечки, а проведение спектрально-корреляционного анализа сигналов АЭ - идентифицировать утечки по размерам. В частности установлена устойчивая связь между эффективной величиной утечки и спектральными характеристиками сигналов АЭ. Стационарность процесса звукоизлучения утечкой позволяет использовать аппарат теории вероятности и математической статистики для определения спектральной плотности мощности сигналов АЭ, по которой можно вычислить среднюю длительность актов АЭ (или интервал автокорреляции τ_0), связанный с эффективным размером утечки $\alpha_э$ соотношением $\alpha_э = \kappa \tau_0$, где κ - эмпирический коэффициент пропорциональности.

Полученные результаты позволили разработать новый метод контроля подводных переходов нефте-газопроводов, который дает инфор-

мацию для принятия оптимальных решений при ликвидации утечек.

Литература:

I. А.с. I035443 (СССР). Способ контроля герметичности нефтепроводов / Б.М.Лапшин, В.В.Янисов - Опубл. в Б.И., I983, № 30.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЛОКАЦИИ ТЕЧИ В ТРУБНЫХ ДОСКАХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

В.Н.Бачегов, О.Н.Пустовой

В работе [I] описан амплитудный акустический способ локации течи в трубных досках с равномерным распределением трубок.

Однако в большинстве трубные доски имеют две-четыре зоны сложной геометрии, заполненные трубками и разделенные сплошными участками. В этих случаях способ [I] неприменим вследствие зависимости коэффициента затухания акустического сигнала от координат его источника.

Если имеется возможность заполнения межтрубного пространства теплообменника водой, то нахождение ряда с дефектом производится по изменению (скачку) мощности принимаемого сигнала при переходе режима истечения "воздух в воздух" в режим "воздух в воду". Недостаток этого способа - сильная зависимость мощности сигнала в точке приема от координат течи, что затрудняет выбор порогов срабатывания в устройствах регистрации изменения мощности сигнала. Перемножение сигналов, снимаемых с двух диаметрально противоположных приемных преобразователей (ПП), практически полностью устраняет этот недостаток, а также дает выигрыш в величине скачка напряжения, определяемый выражением

$$(\Delta U_п / \Delta U_1) = [U_0(t_2)/U_0(t_1)] + 1, \qquad (I)$$

где $\Delta U_п, \Delta U_1$ - разности напряжений до и после скачка сигнала на выходах перемножителя и ПП соответственно; $U_0(t_1), U_0(t_2)$ - среднеквадратические значения напряжений на выходе ПП, условно установленного в месте течи до (t_1) и после (t_2) скачка сигнала.

Проведенные авторами исследования зависимости отношения мощностей акустических сигналов от координаты по различным диаметрам трубных досок показали, что эта зависимость существенно нелинейна и на отдельных участках ее производная меняет знак. Это приводит к большой погрешности при локации дефекта в ряде. Для снижения этой погрешности нахождение дефектного соединения производится по минимуму среднеквадратического отклонения δ_j

$$\delta_j = \sqrt{(a_1 - b_{1j})^2 + (a_2 - b_{2j})^2 + (a_3 - b_{3j})^2}\ ; j = 1, 2, \ldots n, \qquad (2)$$

где $a_1 = lg(U_1^2/U_2^2)$; $a_2 = lg(U_1^2/U_3^2)$; $a_3 = lg(U_1^2/U_4^2)$; U_1, U_2, U_3, U_4 -

- напряжения на выходах четырех ПП, установленных на образующей трубной доски, от реального сигнала; $b_{1j} = lg(U_{1j}^2/U_{2j}^2)$; $b_{2j} = lg(U_{2j}^2/U_{3j}^2)$; $b_{3j} = lg(U_{1j}^2/U_{4j}^2)$; $U_{1j}; U_{2j}; U_{3j}; U_{4j}$ - напряжения на выходах соответствующих ПП при излучении акустического сигнала от имитатора в j-ю трубке ряда; n - число трубок в ряде.

Результаты экспериментальной проверки показали, что применение алгоритма (2) снижает погрешность с I2 трубок (по способу [I]) до двух при 76 трубках по диаметру трубной доски.

Литература:

I. В.Н.Бачегов, О.Н.Пустовой. Акустико-эмиссионный способ определения местоположения утечек жидкости в трубных досках. - В кн.: Повышение качества и долговечности сложных систем в машинах и оборудовании методом технической диагностики. Хабаровск, Краевой совет НТО, I980, с. I4-I6.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ТРУБОПРОВОДАХ НА ПРАВИЛЬНОСТЬ ПОКАЗАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА УТЕЧКУ

В.Н. Бырин, В.Н. Бачегов., Т.И. Адмакин

Эксплуатация акустических течеискателей - определителей направления на течь [I] показала, что при определенных условиях из-за неоднородности контролируемого трубопровода направление на течь определяется неверно. Параметром, существенно влияющим на величину зоны неверного определения направления, является коэффициент отражения сигнала от препятствия типа фланцевого соединения, запорного устройства и т.п.

В работе [I] приведена рабочая характеристика течеискателя без учета влияния отраженного сигнала.

С учетом отраженного сигнала выходное напряжение приемного преобразователя (ПП) запишется [2]:

$$U(t) = U_n(t) + k_o U_n(t - t_3), \qquad (I)$$

где $U_n(t)$ напряжение от прямого сигнала; k_o - коэффициент отражения сигнала от препятствия ; t_3 - время задержки отраженного сигнала. Взаимная корреляционная функция сигналов на выходах двух ПП имеет вид:

$$B_R(\tau) = \frac{k_1}{T}\int_0^T [U_n(t) + k_o U_n(t - t_1)][U_n(t-\tau) + k_o(U_n(t - t_2)]dt, \qquad (2)$$

где $\tau = d/c$; d - расстояние между ПП; С - групповая скорость распространения акустического сигнала; $t_1 = 2(x+d)/c$;

X - расстояние от ПП до отражающей поверхности; $t_2 = (2x+d)/c$.

Применяя к (2) преобразование Винера-Хинчина [3] и вводя частотное рассогласование каналов, после дифференцирования по τ получим истинную рабочую характеристику системы "прибор-объект":

$$R'(\tau) = e^{-\beta\tau}\{\beta\gamma(\cos\omega_1\tau - k_o^2\cos\omega_2\tau) + \omega_o(\sin\omega_1\tau - k_o^2\sin\omega_2\tau) +$$

$$+ k_o\beta\gamma e^{-\beta\frac{2x}{c}}[\cos\omega_1(\tau + \tfrac{2x}{c}) - \cos\omega_2(\tau + \tfrac{2x}{c})] + k_o\omega_o e^{-\beta\frac{2x}{c}}[\sin\omega_1(\tau + \tfrac{2x}{c}) -$$

$$- \sin\omega_2(\tau + \tfrac{2x}{c})]\}, \qquad (3)$$

где ω_0 - расчетная центральная частота каналов ; $\beta = \Delta/\pi$; Δ - полоса пропускания частот каналов; $\omega_1 = \sqrt{\omega_{01}^2 - \beta^2}$; $\omega_2 = \sqrt{\omega_{02}^2 - \beta^2}$; $\gamma = (\omega_{01}^2 - \omega_{02}^2)/\beta^2$; ω_{01}, ω_{02} - центральные частоты каналов.

На основании анализа выражения (3) по переменным X и K_0 можно сделать следующий практический вывод: с увеличением коэффициента отражения зона неверного показания направления на течь возрастает по зависимости, близкой к экспоненциальной. Так, например, для параметров прибора, приведенных в [I] (объект - труба из нержавеющей стали), при $K_0 = 0,95$ зона ложного показания равна 0,25 м, а при $K_0 = 0,99$ - 0,5 м.

Литература:

I. В.Н.Бачегов, В.А.Константинов, О.Н.Пустовой. Погрешность ультразвукового течеискателя, обусловленная частотным рассогласованием каналов. Дефектоскопия, I980, № I2, с.43-47.

2. А.К.Новиков. Корреляционные измерения в корабельной акустике. Л., Судостроение, I97I.

3. Б.Р.Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн.I. М., Сов. радио, I974.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

К.К.Царев, О.Р.Туйкин, Г.П.Кузнецов

Бесперебойная работа кранового оборудования имеет важное значение на всех стадиях производственного процесса. Выход из строя кранового оборудования может полностью нарушить цикл производства и привести к человеческим жертвам. Многочисленность кранов, применяемых практически во всех отраслях промышленности, делает проблему их контроля особенно актуальной.

До настоящего времени периодическое обследование металлоконструкций мостовых кранов производилось, как правило, визуальным осмотром и испытанием при подъеме контрольного груза. В сомнительных случаях применяется один из методов неразрушающего контроля - ультразвуковой или капиллярный. Такая методика не позволяет обнаруживать дефекты малых размеров, а также находящихся в труднодоступных местах.

В связи с этим было предложено использовать для периодического контроля металлоконструкций мостовых кранов метод акустической эмиссии (АЭ), который позволяет контролировать значительный участок крана двумя датчиками с определением линейной координации дефекта. Разработан акустический регистратор дефектов РДА-52, измеряющий основные параметры АЭ - число импульсов, суммарный счет, активность и скорость счета, а также линейную координату дефекта. Результаты измерений хранятся в памяти прибора, выводятся на дисплей и могут быть документированы на самописце. Прибор имеет встроенный имитатор сигналов и звуковой монитор, позволяющий контролировать прохождение сигналов на слух.

При разработке методики испытаний и формировании требований к прибору были произведены замеры интенсивности и спектрального состава шумов работающих механизмов мостового крана, измерено затухание акустического сигнала в металлоконструкции, составляющее около 5 Дб/м в положении 0,I-I мГц, произведено испытание образцов из материала крана, произведено испытание модели крана, доведенное до потери несущей способности. Мощность шумового сигнала механизмов на частотах, лежащих ниже I00 кГц, значительно превышает мощность сигнала АЭ. На частотах выше I00 кГц мощность шума резко падает.

Методика содержит требования к условиям проверочного нагружения мостовых кранов, порядок выбора режимов работы АЭ аппаратуры,

форму записи и представления результатов контроля. Общая схема контроля заключается в следующем: при периодических обследованиях мостовой кран подвергается проверочному нагружению поднятием груза весом I,I от рабочей нагрузки, при этом фиксируются сигналы АЭ из интересующего участка крана. По полученным характеристикам принимается решение о наличии развивающихся дефектов. В основу классификации источников АЭ, связанных с дефектом контролируемой конструкции, положена методика перегрузок изделия. Если регистрируются сигналы АЭ после превышения рабочей нагрузки крана, это означает, что есть усталостные трещины, которые развивались за период эксплуатации со времени предыдущего контрольного нагружения. В случае, если сигналы появляются при значениях нагрузки, меньшей чем рабочая, это показывает, что дефект не только увеличился за период эксплуатации, но и развивался при контрольном нагружении. При возникновении сигналов АЭ требуется или устранение дефектов, или проведение дополнительного контроля другими методами, так как дальнейшая эксплуатация может привести к разрушению конструкции в данном месте.

О КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Ю.П.Бородин, А.А.Чернов

Возрастающая роль методов неразрушающего контроля МНК для оценки технического состояния авиационных конструкций при ресурсных испытаниях и в условиях эксплуатации по новому ставит вопросы эффективности их применения, т.е. надежности, стоимости и трудоемкости контроля.

Требуемые значения этих показателей могут быть достигнуты только при выполнении определенных условий по приспособленности конструкции для проведения контроля на стадии проектирования и в процессе последующей доводки летательного аппарата.

Для оценки степени соответствия действительных условий по контролю требуемым вводится понятие контролепригодности конструкции.

Контролепригодность конструкции - свойство конструкции, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами.

Для акустической эмиссии определяющими могут быть следующие свойства конструкции:

I. Материал контролируемого изделия

2. Тип конструктивного элемента

Эти свойства конструкции рассмотрены в плане использования акустической эмиссии для обнаружения усталостных трещин и определения их координат.

Главным параметром материала, характеризующим его пригодность для применения АЭ, является число импульсов АЭ, излучаемых единичным объемом области деформирования. По известной интенсивности помех, излучаемых болтовым или заклепочным соединением конструкции, и количеству импульсов от источника сигналов АЭ можно определить вероятность обнаружения дефекта заданного размера.

Тип конструктивного элемента во многом определяет эффективность метода АЭ. Область применения метода АЭ на авиаконструкциях ограничивается конструктивными элементами, содержащими геометрические концентраторы напряжений в виде свободных отверстий, галтелей, подсечек, сходов ребер и т.д.

Размеры и форма зоны контроля зависят от взаимного расположения датчиков АЭ и характера диаграммы направленности контроля источника

излучения сигналов АЭ, которая в свою очередь зависит от геометрии изделия.

Приведены примеры использования многоканальных систем АЭ при ресурсных испытаниях натурных авиационных конструкций.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Ю.П.Бородин

Переход на эксплуатацию по техническому состоянию, обеспечивающую выработку индивидуального ресурса самолета, требует применения разнообразных методов технического диагностирования конструкций.

Техническая диагностика объекта может выполняться с использованием методов неразрушающего контроля, методов контроля пороговых уровней параметров, виброакустических методов.

Методы виброакустической диагностики основаны на предположении, что модель или набор моделей диагностируемого объекта известны. Целью диагностики является определение параметров этой модели. В этом смысле задача диагностики совпадает с задачей идентификации объекта. Отличие состоит в том, что идентификация предполагает знание входных и выходных сигналов объекта, а при диагностировании параметры объекта определяются по выходным сигналам.

Объектами диагностирования летательного аппарата могут быть гидроагрегаты и электротехнические механизмы, конструкцивные элементы двигателя и планера.

Для количественной оценки изменений выходного сигнала и определения причин, порождающих эти изменения, разрабатываются модели объектов с присущими ему внутренними взаимосвязями и закономерностями.

При этом решается две задачи. Первая связана с определением структуры объекта, оценкой стационарности и линейности; выбором информационных сигналов, определяющих его техническое состояние или его изменение.

Вторая - определение параметров объекта и их изменений в процессе эксплуатации.

Идеи виброакустического диагностирования опробованы на односрезных и двухсрезных образцах заклепочных соединений авиаконструкций с целью определения момента образования усталостной трещины по изменению интенсивности сигналов, регистрируемых непрерывно аппаратурой акустической эмиссии.

Применение многоканальной аппаратуры и блока определения координат источников шума расширили область применения метода, позволяя вести измерения на натурной конструкции самолета.

ДИАГНОСТИКА УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Е.А.Коняев, М.Д.Банов, А.И.Урбах

Оценка усталостных повреждений и прогнозирование долговечности деталей авиационной техники (АТ) является актуальной задачей, связанной с обеспечением эффективности эксплуатации и безопасности полетов летательных аппаратов. Всвязи с этим, основным вопросом в проблеме надежности АТ остается разработка и внедрение различных методов технической диагностики с целью предупреждения преждевременного разрушения конструкций.

В качестве объектов исследований были выбраны ответственные детали горячей части двигателя - сплошные и охлаждаемые рабочие лопатки турбин, а также авиационные сосуды высокого давления.

Исследуемые детали подвергались циклическому нагружению до разрушения с целью выявления закономерностей изменения параметров акустической эмиссии (АЭ) по мере накопления усталостных повреждений в материале. По результатам испытаний сформулированы диагностические критерии, позволяющие определять момент возникновения усталостных трещин и следить за кинетикой их роста.

Результаты проведенных исследований были положены в основу методики контроля охлаждаемых лопаток турбин на наличие трещин во внутренней полости при уровнях напряжений, не превышающих эксплуатационные. Методика успешно апробирована в заводских условиях. Время контроля одной лопатки не превышает 20 с. Достоверность контроля - не менее 85%.

Кроме того, показана возможность осуществления разбраковочного контроля агрегатов высокого давления - гидрофильтров, гидроаккумуляторов. Контроль сосудов давления производится на специальном гидростенде в режиме, имитирующем эксплуатационные нагрузки.

Дальнейшие исследования показали, что анализ параметров АЭ позволяет установить размер дефекта - длину усталостной трещины по характеру изменения скорости счета АЭ. В работе предложена модель роста трещины, отражающая скачкообразность её развития:

$$\ell_{mp} = \ell_o + \nu \sum_{i=1}^{\kappa} \left(\frac{d\ell}{dN}\right) i \, \Delta t i \,, \qquad (I)$$

где ℓ_{mp} – суммарная длина усталостной трещины; ℓ_o – начальная длина трещины; ν – частота нагружения; $\Delta t i$ – длительность периодов роста трещины; κ – количество периодов роста трещины; $\left(\frac{d\ell}{dN}\right)_i$ – скорость роста трещины.

Скорость роста трещины определяется с использованием тарировочной кривой по значениям скорости счета АЭ.Предложенный метод позволяет осуществлять определение количественных характеристик процесса роста усталостной трещины,начиная с самых ранних стадий.Экспериментальная проверка предложенного способа оценки длины трещины по параметрам непрерывной регистрации АЭ и сравнение её с действительными значениями показала,что относительная погрешность прогнозирования длины трещины по параметру АЭ не превышает 2,8%.

В работе приводятся также результаты исследования усталостной долговечности стали 45 в условиях регулярного и программного нагружения.Установлено,что значения суммарного счета АЭ на стадии стабилизации процесса неупругого деформирования материала являются характеристикой интенсивности накопления усталостного повреждения в индивидуальных образцах при идентичных условиях нагружения.Предложена методика прогнозирования усталостной долговечности образцов и конструктивных элементов в условиях нестационарного нагружения.Решение этой задачи имеет большое практическое значение для оценки срока службы ответственных деталей АТ,работающих в условиях сложного спектра возмущающих нагрузок и эксплуатирующихся по фактическому состоянию.Получено хорошее соответствие расчетных и экспериментальных значений усталостной долговечности исследуемых изделий.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В.В.Кошкин, П.П.Макаренко, Е.П.Вахромов

Актуальность данной работы заключается в обеспечении эксплуатационной надежности и безопасности полета планера путем разработки средств неразрушающего контроля ответственных силовых элементов и узлов конструкции.

Значительное место занимает разработка средств и способов обнаружения усталостных повреждений авиационной техники в связи с ростом напряженности конструкции и повышения уровня динамических нагрузок на основаниеагрегата планера.

В настоящее время применяются ряд методов неразрушающего контроля: визуально-оптический, капиллярный, магнитно-порошковый, вихревых токов, ультразвуковой и др.

Важнейшими характеристиками МНК является чувствительность и разрешающая способность, достоверность результатов контроля, простота и надежность аппаратуры и технологического процесса.

Однако эти методы исследуются для решения ограниченного числа дефектоскопических задач. Поэтому среди новых МНК заслуживает внимание метод контроля акустической эмиссии. С помощью АЭ были определены наиболее опасные дефекты в силовых конструкциях планера, в частности, поворотной части крыла.

Такими дефектами являются трещины усталости, развивающиеся при действии динамических нагрузок. Следовательно, целесообразно проводить исследования по контролю технического состояния авиационных конструкций в направлении определения параметров усталостных повреждений в процессе циклического нагружения, более полно отражающего реальный процесс зарождения и рост трещин усталости. Наиболее современным таким методом является метод АЭ.~~полностью.~~

Для решения частной задачи был произведен расчет динамической характеристики поворотной части крыла, исследовано напряженно-деформированное состояние силовой панели консоли моноблочного крыла при наличии усталостных трещин с целью нахождения зависимости параметров АЭ от характеристики при циклическом нагружении конструкции.

В результате проведения работ подтверждена возможность обнаружения усталостных повреждений оценки их опасности с помощью комбинации методов неразрушающего контроля - метода АЭ и метода контроля частоты собственных колебаний.

Метод АЭ позволяет обнаружить дефекты на ранней стадии их развития, контролировать процесс развития усталостных повреждений, дает возможность установить размеры и степень опасности повреждений.

Это позволило значительно увеличить ресурс работы изделия и обеспечить эксплуатационную надежность планера.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОЦЕНК И СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

И.А.Горбунов, М.В.Чернопыжский,Н.М.Тушина,К.Л.Ковлер

При изготовлении, транспортировке и складировании, а также монтаже несущих элементов крупнопанельных зданий в них часто образуются трещины как температурно-усадочного характера, так и силовые. Наиболее опасными для работы конструкций следует признать силовые трещины, которые, развиваясь в результате приложения силовых нагрузок, значительно нарушают условия эксплуатации зданий, создают аварийные ситуации, тем самым снижая надежность и долговечность зданий.

При оценке влияния той или иной трещины на несущую способность конструкции следует определить не только ее происхождение, но и характер ее развития при нагружении. Очевидно, наиболее опасна трещина, развивающаяся ускоренно. Поэтому для определения степени опасности силового трещинообразования в конструкциях целесообразно применить высокочувствительные методы контроля, в частности, метод акустической эмиссии, позволяющий оценить кинетику развития трещин при малом времени наблюдения за ними. С другой стороны, для получения мотивированного заключения о состоянии конструкций с трещинами необходимо длительное наблюдение за ними, сбор и анализ статистического материала о параметрах трещин и их изменениях в течении первых лет эксплуатации зданий.

Контроль трещинообразования в несущих железобетонных стеновых конструкциях сводился к следующему. В конструкции с трещинами и в аналогичной конструкции, но без трещин, находящейся под действием такой же нагрузки (на одном и том же этаже здания), велась регистрация числа импульсов акустической эмиссии при дискретном увеличении нагрузки, т.е. при монтаже конструкций вышележащих этажей. По полученным результатам регистрации импульсов эмиссии в дефектной и бездефектной конструкциях в процессе увеличения нагрузки вплоть до расчетной ее величины строились эмпирические зависимости числа импульсов АЭ от уровня нагрузки, а также временные ряды числа импульсов для всех значений нагрузки.

При начальных уровнях нагружения математические ожидания временных рядов числа импульсов и их дисперсии для дефектной конструк-

ции значительно (на I-2 порядка) превышают одноименные параметры бездефектной конструкции. Следовательно, трещинообразование в панели с трещинами происходило намного интенсивнее и носило более неравномерный характер. Но, начиная с нагрузок, соответствующих II-I3 этажам, указанные параметры уменьшаются, а расхождение между одноименными параметрами конструкций с трещинами и без них не превышает 30-50 %, что говорит о стабилизации процесса трещинообразования, причем его характер в дефектной панели становится более плавным и приближается к характеру трещинообразования в панели без трещин.

Полученные выводы подтверждаются результатами наблюдения за изменениями ширины раскрытия и глубины распространения трещин с помощью тензометрического, ультразвукового и других методов.

Длительные наблюдения за параметрами характерных трещин в несущих внутренних стеновых панелях (длина, ширина, раскрытия $a_т$[см], глубина распространения h[см]) и применение аппарата математической статистики дало возможность построить эмпирические и теоретические кривые распределения генеральных совокупностей параметров, на основе чего получена формула определения глубины распространения трещин :

$h = 23{,}12 a_т + 1{,}64$, которая позволяет отказаться от применения ультразвуковой дефектоскопии, что резко сокращает время контроля.

Проведенные исследования состояния несущих стеновых панелей с силовыми трещинами позволило сделать вывод о несоответствии проектных схем работы конструкций действительной работе. Отмечено также, что увеличение жесткости зданий с ростом этажности, видимо, приводит к значительному, более равномерному перераспределению усилий и оказывает тормозящее воздействие на развитие трещин, в результате чего усиление конструкций не всегда оправдано. Это подтверждается также длительными наблюдениями за трещинами в течение первых двух лет эксплуатации, показывающими, что параметры трещин практически не изменяются. В результате выполненных исследований разработан и внедрен в практику способ оценки трещинообразования в железобетонных конструкциях на основе измерения акустической эмиссии [I] .

Литература :

I. Способ оценки трещинообразования в железобетонных конструкциях /Почтовик Г.Я., Черноплысский М.В., Кэвлер К.Л. Заявл.28,I2.82, № 3527847/33; положит.решение Госкомизобретений от 22.I2.83.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННАЯ ДИАГНОСТИКА МОСТОВЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.И.Манохин, Б.А.Лифшиц, Л.И.Маслов, А.В.Белов, В.Н.Рожнов, П.М.Арцимович

С использованием передвижной многоканальной лаборатории АЭ диагностики проведено обследование Крымского, Б.Каменного, Б.Устьинского мостов, а также метромоста в Лужниках.

Обследование проводилось с целью оценки несущей способности конструкций и их долговечности, выявления потенциально опасных дефектов, оценки равномерности распределения напряжений по несущим узлам и элементам, прогнозирования трещиностойкости материала, а также изучения влияния на динамику перераспределения нагрузок климатических и некоторых иных факторов. Изучение динамики развития процесса генерации сигналов АЭ во времени и корреляционный анализ распределения сигналов позволили в соответствии с разработанными критериями выявить зоны повышенной опасности, локализовать дефектные участки и оценить локальные напряженные состояния в несущих узлах.

На основании полученных данных сформулированы рекомендации по устранению выявленных дефектов и изменению характера напряженного состояния несущих узлов, а также начата капитальная реконструкция перекрытий цеха. Информация о результатах обследования внесена в информационный банк данных и будет использоваться в качестве опорной при последующих периодических АЭ обследований реальных конструкций.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ

Муравин Г.Б., Ерминсон А.Л.

Широкое внедрение в транспортное строительство железобетонных конструкций, особенно при сооружении мостов, требует обеспечения их надлежащими средствами контроля качества как в процессе производства работ, так и при эксплуатации. Анализ случаев аварий железобетонных мостов показывает, что в процессе строительства основная их причина - несоблюдение технологии и правил производства работ, а в процессе эксплуатации - растрескивание конструкций, в первую очередь под действием продуктов коррозии предварительно напряженной арматуры.

Наряду с традиционными методами контроля железобетонных изделий в последнее время все более широкое применение находит метод акустической эмиссии (АЭ). Однако, применение метода АЭ на реальных конструкциях усложняется рядом трудностей. В первую очередь - это наличие мощных акустических шумов и электромагнитных помех различной природы и сложного спектрального состава, создаваемых движущимися транспортными средствами. Другая трудность - многоэлементность конструкции мостов и отсутствие акустической связи между отдельными элементами.

В докладе приводятся экспериментальные данные исследования шумов и помех на железобетонном мосту в условиях интенсивного движения электроподвижного состава. Дается их классификация, рассматриваются физические процессы их образования и методы выделения из них сигналов АЭ.

Обсуждаются результаты экспериментов по определению параметров АЭ при испытаниях бетонных и железобетонных образцов и конструкций.

Приводятся результаты измерения параметров АЭ при образовании трещин в элементах железобетонных мостов под действием продуктов коррозии.

Эксперименты и исследования проводились с помощью анализаторов акустической эмиссии АВН-ПМ и АВН-3.

Показано, что достоверность контроля повышается при совместном использовании метода АЭ и ультразвукового импульсного метода контроля.

Приводится структурная схема многоканального прибора, предназначенного для контроля состояния элементов конструкций железобетонных мостов. Рассмотрены принципы построения устройств коммутации измерительных каналов, систем программного управления и измерительными и управляющими блоками. Даются технические характеристики блоков прибора. Приводятся методики частотной, временной и амплитудной селекции сигналов АЭ в условиях интенсивных шумов и помех в зависимости от режима измерения, номера измерительного канала, характера движения транспортных средств.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЬЕКТОВ

В.И.Иванов, С.П.Быков, А.П.Рябов

На основе вероятности безотказной работы оборудования получено выражение для определения дополнительного времени его эксплуатации. Показано, что применение метода акустической эмиссии позволяет определить гарантированное дополнительное время эксплуатации.

Вероятность безотказной работы (ВБР) объекта P_{sp} представляет собой функцию времени t с параметрами λ, δ и другими, определяющими форму кривой ВБР и характеризующими данную группу объектов,

$$P_{\delta,\rho} = P(t, \lambda, \delta, \dots). \qquad (I)$$

После того, как объект отработал некоторое время t и не вышел из строя, появляется уверенность, что он может проработать еще некоторое время с заданной ВБР. Это соответствует положению об условной вероятности:

$$P(\Delta t/t, \lambda, \delta, \dots) = \frac{P(t+\Delta t, \lambda, \delta, \dots)}{P(t, \lambda, \delta, \dots)}. \qquad (2)$$

Выражение (2) можно использовать для оценки времени, которое назначается для дальнейшей эксплуатации объекта при заданном значении ВБР. Из него получается выражение для Δt как функция текущего времени t , ВБР ресурса $P_{рес.}$ и параметров кривой ВБР ($\lambda, \delta, \dots$) для данной группы объектов:

$$\Delta t = \Delta t(t, P_{рес.}, \lambda, \delta, \dots). \qquad (3)$$

Если положить $t = t_{рес}$, то уравнение (3) определяет время сверхресурсной работы объекта, проработавшего до ресурса без отказов, оно справедливо для любого закона распределения отказов. Для определенности положим, что отказы подчиняются распределению Вейбулла,

тогда имеем

$$P(t) = e^{-(t/\lambda)^{\delta}}, \qquad (4)$$

учитывая (2) - (4), получим

$$\Delta t = (t^{\delta} - \lambda^{\delta} \ln P_{рес.})^{\frac{1}{\delta}} - t. \qquad (5)$$

Использование дополнительной информации, получаемой методом акустической эмиссии (АЭ), позволяет более обоснованно оценить состояние объекта и дополнительное время эксплуатации, в данном случае можно говорить о гарантированном времени безопасной эксплуатации объекта. Параметры АЭ прямо отражают процесс разрушения и позволяют оценить близость объекта к отказу или разрушению. Так, в работе (I) было отмечено, что по достижению закономерности изменения числа импульсов АЭ в функции параметра нагружения четвертой степени (для конструкционных сталей) наступает стадия катастрофического состояния объекта, заканчивающаяся выходом его из строя. При своевременном установлении данной фазы можно предупредить катастрофические последствия. Условие наступления фазы катастрофического состояния имеет вид:

$$\frac{\Delta N_i}{\Delta N_{i-1}} \geq 1 + 3 \frac{\Delta \Pi}{\Pi_{i-1}}, \qquad (6)$$

где $\Delta N_i, \Delta N_{i-1}$ - число сигналов АЭ за текущий и предыдущий промежутки времени; $\Delta \Pi$ - приращение параметра; Π - значение параметра.

Устанавливая гарантированное время безотказной эксплуатации по показаниям АЭ в виде условия

$$\tau_{АЭ} = \Delta t, \qquad (7)$$

из выражения (5) получим время безопасной эксплуатации объекта при использовании прибора АЭ

$$\tau_{АЭ} = (t_{АЭ}^{\delta} - \lambda^{\delta} \ln P_{рес.})^{1/\delta} - t_{АЭ}. \qquad (8)$$

Условие (8) означает, что объект эксплуатируется до тех пор пока прибор АЭ покажет, что он находится на грани отказа. Критерием этого состояния является условие (6). После того, как значение умень-

шится до определенного в предварительных экспериментах или оценках значения $\tau_{АЭ}$, обеспечивая выполнение условия (7), эксплуатация объекта прекращается. Увеличение срока службы объекта ($\Delta t_{АЭ}$) будет определяться следующим образом

$$\Delta t_{АЭ} = t_{АЭ} - t_{рес}. \qquad (9)$$

Таким образом, объективная оценка увеличения времени эксплуатации объектов с применением метода АЭ может проводиться с использованием условий (2) и (7) и выражений (5), (8), (9). Аналогичные рассуждения можно применить при других распределениях отказов и функций вероятности безотказной работы.

Дитература:

I. Иванов В.И. Применение метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля и исследования материалов. Дефектоскопия, 1980, № 5, с. 65–84.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МАТЕРИАЛА ПО СИГНАЛАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ (АЭ)

В.Г.Гришко, В.А.Стрельченко

Для решения задачи прогнозирования остаточного ресурса материала по сигналам АЭ необходимо предварительно из сигналов АЭ выделить такой параметр, который наилучшим образом коррелирует с механической характеристикой, определяющей остаточный ресурс, например, кривой нагружения $P(i)$. В качестве анализируемых параметров рассматривалась совокупность следующих потоковых характеристик сигналов АЭ: ${}^{j}a(i)$ - последовательность величин, характеризующих значения амплитуды огибающей видеосигнала АЭ в j-м эксперименте в i-й момент времени; ${}^{j}N(i)$ - последовательность величин, характеризующих значения интенсивности сигнала АЭ в j-м эксперименте в i-й момент времени; ${}^{j}\beta(i,\ell)$ - последовательность величин, характеризующих значения спектральной плотности сигнала АЭ в j-м эксперименте в i-й момент времени в ℓ-м диапазоне частот.

По последовательности ${}^{j}\beta(i,\ell)$ вычисляются следующие характеристики: ${}^{j}B(i)$ - участки максимальных значений спектральной плотности; $V_B(i)$; $a_B(i)$ - скорость и ускорение $B(i)$; $R[\beta(i+1,\ell),\beta(i,\ell)]$ - автоковариацию $\beta(i,\ell)$; $Д(i)$ - последовательность дисперсий мгновенных спектров. Очевидно, для того, чтобы по сигналам АЭ определять значение характеристик механических свойств исследуемого материала, необходимо иметь некоторую функциональную зависимость между кривой нагружения $P(i)$, с одной стороны, и какой-либо из вышеуказанных последовательностей потока АЭ, с другой. Обозначим параметр АЭ, наилучшим образом коррелируемый с $P(i)$, в виде $\xi(i)$, тогда задачу идентификации сформулируем следующим образом: по известной матрице $\{{}^{j}\xi(i)\}$ строим функционал, отображающий ${}^{j}\xi(i)$ на ${}^{j}P(i)$ в виде

$$ {}^{j}P(i) \simeq U^{*}[{}^{j}\xi(i)] = {}^{j}A(i)\,{}^{j}B(i) + {}^{j}B, \qquad (I) $$

где ${}^{j}A(i)$ и ${}^{j}B(i)$ - неизвестные матрица и вектор-столбец коэффициентов идентификации соответственно;

$$\mathcal{J} \triangleq \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{I} \left[{}^{j}P(i) - {}^{j}A(i) \cdot {}^{j}\xi_{\beta}(i) - {}^{j}B \right] \rightarrow min , \quad (2)$$

Берем частные производные по коэффициентам идентификации и решаем полученную систему уравнений, в результате решения получаем значения ${}^{j}A(i)$ и ${}^{j}B$.

Строим обучающую последовательность в виде ансамбля траекторий ${}^{j}\xi_{\beta}(i)$ по j экспериментам, проводимых в идентичных условиях. Пусть

$$\left\{ {}^{j}\xi_{\beta}(i) \right\} : \begin{cases} \forall_j = \overline{1,n}; \; i \in [i_1, i_{q_j}], \\ j = n+1; \; i \in [i_1, i_\kappa] \; i_\kappa < i_q . \end{cases} \quad (3)$$

Решение задачи заключается в нахождении ${}^{n+1}\xi_{\beta}(i)$ траектории процесса для $\forall_i : i \in (i_\kappa, i_{q_{n+1}}]$ и времени, за которое $n+1$-я траектория достигнет значения ${}^{n+1}\xi_{\beta}(i_{q_{n+1}})$. Таким образом, ищется функция $\psi \{ {}^{j}\xi_{\beta}(i) \}$ от множества реализаций ${}^{j}\xi_{\beta}(i)$, удовлетворяющая соотношениям

$$\psi_1 [{}^{j}\xi_{\beta}(i)] : \{ {}^{j}\xi_{\beta}(i_{q_j}) - \psi_1 [{}^{j}\xi_{\beta}(i)] \} = \min_{\psi_1} , \quad (4)$$

$$\psi_2 (i_{q_j} - i_\kappa) : \{ ({}^{n+1}i_{q_{n+1}} - {}^{n+1}i_\kappa) - \psi_2 (i_{q_j} - {}^{j}i_\kappa) \} = \min_{\psi_2} , \quad (5)$$

где $\psi(\cdot)$ – функция от множества реализаций ${}^{j}\xi_{\beta}(i)$; $\psi(\cdot)$–функция от множества $\{ i_{q_j} - i_\kappa \}$.

Решение (4) и (5) в общем виде либо невозможно, либо наталкивается на значительные трудности вычислительного характера, поэтому нами предлагается решение указанной задачи в более узком классе линейных функций.

Наилучшим линейным приближением ${}^{j}\hat{\xi}_{\beta}(i_{q_j})$ к вектору ${}^{j}\xi_{\beta}(i_{q_j})$ является элемент, который находится от ${}^{j}\xi_{\beta}(i_{q_j})$ на кратчайшем расстоянии. Из теории функционального анализа известно, что такой вектор единственный. Следовательно

$$M \left\{ \left[\sum_{\ell=1}^{L} {}^{j}\xi_{\beta}(i_\ell) \cdot \Gamma_\ell - {}^{j}\xi_{\beta}(i_{q_j}) \right] \left[{}^{j}\xi_{\beta}(i_{\ell_1}) \right] \right\} = 0 , \quad (6)$$

$$\forall \ell_1 = \overline{1,L}; \; \forall_j = \overline{1,n+1}, \qquad \Gamma_\ell \text{ – константы.}$$

При определении (6) доказана теорема, согласно которой Γ_ℓ могут быть определены из следующей системы уравнений

$$[{}^{j}\xi_{\beta}(i_\ell)] [\bar{\Gamma}] = {}^{j}\xi_{\beta} q_j , \quad \ell = \overline{1,L}; \qquad \bar{\Gamma} \triangleq (\Gamma_1 , \Gamma_2, \ldots, \Gamma_\ell). \quad (7)$$

Последнее позволило намного сократить объем вычислений, что дало возможность вести прогнозирование в реальном масштабе времени. В докладе приводятся примеры использования предложенного метода прогнозирования.

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В.Е.Вайнберг, Л.И.Дехтярь, М.Г.Орлов, В.М. Романов

Ответственные узлы различного по назначению оборудования в процессе эксплуатации подвергаются значительным недолговременным перегрузкам, весьма опасным для их целостности. В связи с этим возникает проблема повышения достоверности контроля и прогнозирования разрушений элементов дорогостоящего оборудования, в особенности находящихся в труднодоступных местах, когда традиционные методы диагностики оказываются непригодными.

В работе излагается методика, основанная на использовании акустической эмиссии (АЭ) и тестовых нагружений, пригодная для осуществления диагностики разрушения и прогнозирования остаточного ресурса изделий. При этом процесс диагностирования проводят не непрерывно, а периодически, и он приобретает характер освидетельствования по результатам тестовых испытаний.

Рассмотрим один из вариантов реализации методики. Образцы для отработки методики испытания подбирают исходя из реального нагружения элементов объекта диагностирования и, вместе с тем, так, чтобы информативность параметров АЭ была бы достаточной для установления зависимости ее от состояния изделия. Образцы диаметром 40 мм нагружались циклически с амплитудой напряжения 0,8....I,0 σ_{-I}.

Через каждые 10^5 циклов производились 3-4 цикла статического нагружения, имитирующих тестовые перегрузки изделия, создающие в образце напряжения $1{,}2\ \sigma_{-I} \leq \sigma \leq \sigma_{т}$. Интенсивность АЭ, регистрируемая во время каждого тестового нагружения, при появлении в образце макротрещины начинает возрастать, а затем, с некоторого момента,-убывать. Положение во времени максимума на полученной таким образом кривой интенсивности АЭ не зависит от величины статических нагрузок в указанном диапазоне напряжений и от порога чувствительности регистрирующей аппаратуры.

В результате ресурсных испытаний диагностируемого узла получается серия кривых зависимости интенсивности АЭ от числа тестовых циклов (рис.I). На графике различимы зоны начальная (I), эксплуатации исправного изделия (2), начала трещинообразования (3) и дальнейшего роста магистральной трещины (4). Кривые, полученные на разных моделях, будут иметь разброс.

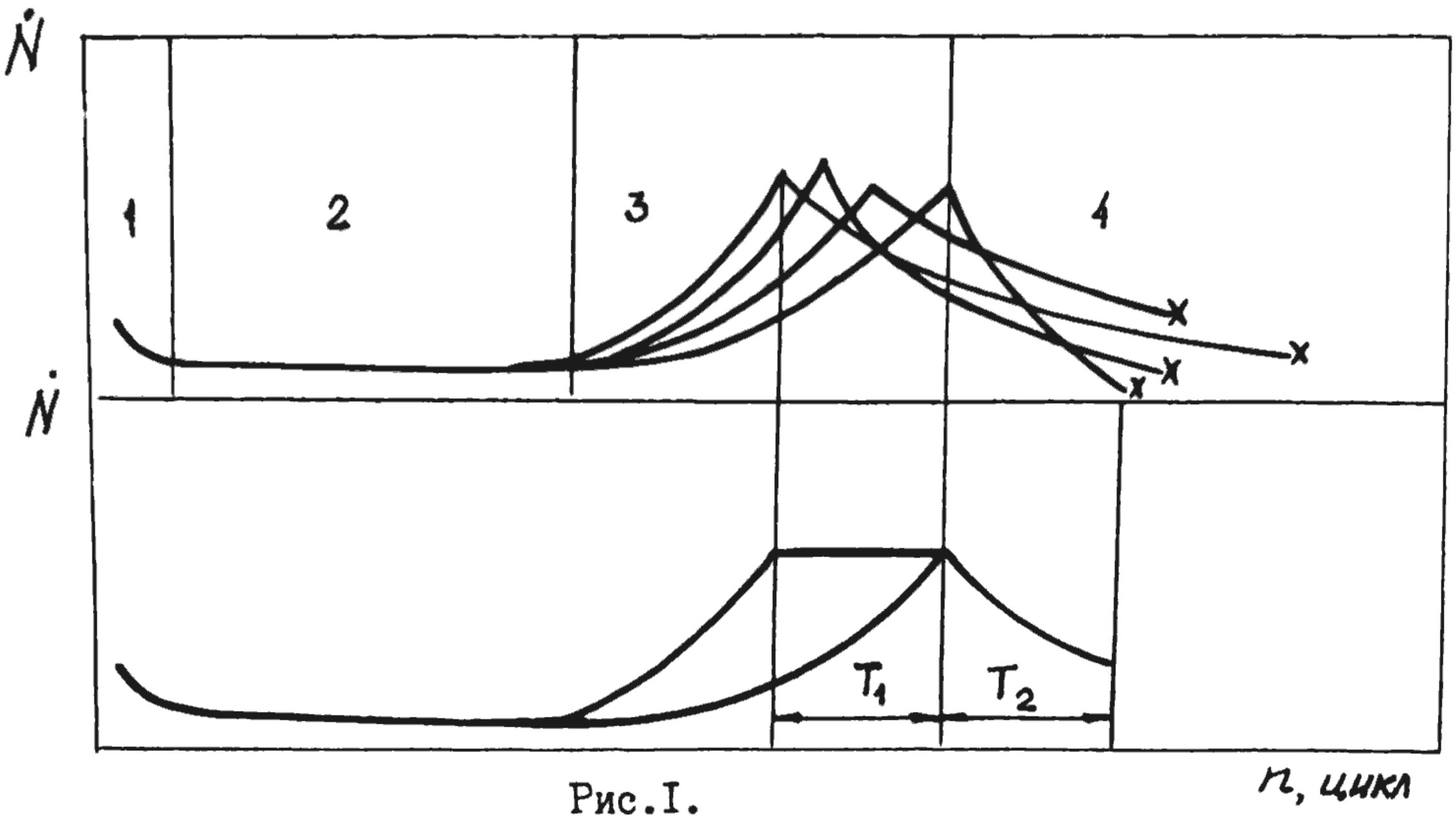


Рис.I.

При определении критериев диагностирования зоны разброса характерных точек не учитываются. По результатам ресурсных испытаний устанавливаются критерии диагностирования изделия, в составе которого имеется этот узел. От начала эксплуатации до начала роста интенсивности АЭ следует считать изделие сохраняющим работоспособность в течение следующего за моментом диагностирования промежутка времени длительностью $T_I + T_2$. После начала возрастания интенсивности АЭ до достижения его максимума можно гарантировать сохранение работоспособности изделием на период времени T_2. При получении хотя бы двух точек со значениями интенсивности АЭ меньшими, чем при предыдущих испытаниях, эксплуатацию изделия следует прекратить.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАКОПЛЕННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ПРОГРАММНОМ НАГРУЖЕНИИ

М.Д.Банов

Определение величины накопленного повреждения при программном циклическом нагружении образца или детали представляет большой практический и научный интерес и остается актуальной проблемой.Эта задача решается многочисленными теориями суммирования повреждения,в число которых входит и гипотеза Пальмгрена-Майнера,которая является наиболее простой,так как она оперирует только суммами относительных долговечностей и не требует определения каких-либо дополнительных параметров.Указанная гипотеза гласит,что разрушение при программном нагружении произойдет при равенстве суммы относительных долговечностей единице. Однако анализ экспериментальных работ показывает существенное отличие указанных сумм относительных долговечностей от единицы.

Причина такого расхождения теории и практики в том,что гипотеза Пальмгрена-Майнера не учитывает индивидуальных особенностей накопления повреждения в отдельных образцах при программном нагружении.Кроме того,гипотеза предусматривает только линейный характер накопления повреждения,а на самом деле накопление повреждения имеет сложный характер,отличный от линейного.

В докладе излагаются результаты другого подхода.к определению величины накопленного повреждения путем замены суммы относительных долговечностей суммой относительных суммарных счетов акустической эмиссии (АЭ).Предпосылкой для такой замены является предположение о том,что в суммарном счете АЭ непосредственно отражена информация о нелинейном характере накопления усталостного повреждения материала при программном нагружении (история нагружения,уровень напряжений,свойства материалов,индивидуальные характеристики образцов и т.д.).

Кроме того,аналогия в характере поведения суммарного счета АЭ,соответствующего разрушению от напряжения,и кривой усталости позволяет считать замену параметра числа циклов на параметр суммарного счета в гипотезе Пальмгрена-Майнера вполне оправданной.

Проверка правильности такого подхода к определению вели-

чины накопленного повреждения осуществлялась на рабочих лопатках ГТД. Программа испытания включала двухступенчатое изменение напряжения и двухступенчатое блочное нагружение. В качестве нагружающего устройства использовался электродинамический стенд. Испытания проводились на резонансных частотах лопаток по первой изгибной форме.

Прием сигналов АЭ и их обработка производились прибором АФ-20М.

Изучение закономерности изменения суммарного счета АЭ от числа циклов нагружения каждой лопатки при стационарном нагружении показало, что значение суммарного счета АЭ, соответствующего разрушению, тесно коррелирует с суммарным счетом АЭ, накопленным в течение фиксированного промежутка времени в начальный момент нагружения, и соответствует линейным зависимостям в логарифмических координатах. Это дает возможность по параметру суммарного счета АЭ, накопленного в течение фиксированного времени в начальный момент нагружения, учесть индивидуальные особенности накопления повреждения в отдельных лопатках при программных их испытаниях, что невозможно сделать по параметру числа циклов при тех же программных испытаниях.

Следовательно, при программном нагружении для нахождения характеристик рассеяния индивидуальных лопаток достаточно иметь информацию о численных значениях суммарного счета АЭ каждой лопатки, накопленных в течение фиксированного промежутка времени в начальный момент нагружения.

В докладе показано, что полученные расчеты величин накопленного повреждения лопаток по параметру суммарного счета АЭ при различных программах нагружения практически равны единице. Это дает возможность с высокой точностью определять величину накопленного повреждения на каждом этапе ступенчатого нагружения в любой момент времени.

Другим немаловажным достоинством такого подхода к определению величины накопленного повреждения является то, что она отражает реальную картину накопления повреждений. Так, например, при двухступенчатом изменении напряжения виден вклад циклической нагрузки в накопление повреждения на первой ступени, который колеблется в широком диапазоне. Этого нельзя увидеть при использовании для расчета накопленного повреждения гипотезы Пальмгрена-Майнера по параметру числа циклов.

ВНЕДРЕНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Б.А. Надолинный, В.Г. Тихий, Ф.П. Санин, В.Б. Горев, О.Я. Прищенко

Такие композиционные материалы, как эпоксидные стеклопластики, благодаря их коррозийной стойкости и легкости, получают все большее распространение в нефтехимической промышленности. Однако, их успешное применение возможно только тогда, когда обеспечивается надежный контроль качества.

Объектом исследования данной работы являлась деталь из стеклопластика на основе смолы ЭДТ-10, представляющая собой усеченную сферу диаметром I м с толщиной стенки 5 мм. Материал детали обладает коэффициентом затухания 0,3 ÷ 0,7 дб/см для диапазона частот 50-250 кГц.

Деталь такой конструкции обладает анизотропией свойств материала за счет различных физико-механических характеристик ткани в направлении основы и утка.

Анализ напряженно-деформированного состояния детали показал, что она имеет два места начального разрушения в полюсе и в районе защемления ее в оснастке. Следовательно, прочность детали определяется средними значениями физико-механических характеристик материала в районе защемления, в полюсе детали, а также в районе ослабленного места, вызванного анизотропией свойств материала.

В результате исследований разработан метод прогнозирования статической прочности указанной детали.

Метод реализован на трехканальной аппаратуре КТАЭ-203 разработки ИПМаш АН УССР со следующими характеристиками:

- рабочая полоса частот - 50 ÷ 500 кГц ;
- регистрируемые параметры: суммарная АЭ, амплитуда;
- акустические преобразователи в полосе рабочих частот имеют резонанс на частоте 220 ± 30 кГц;
- уровень шумов, приведенный ко входу предусилителя, не более 10мкВ.

В практике использования метода АЭ известно [I] применение в качестве критерия качества детали суммарного числа импульсов. Однако, применение только этого критерия для деталей со сложным напряженно-деформированным состоянием приводит к большой перебраковке продукции. Поэтому для таких деталей следует с учетом их особенностей определять несколько информативных параметров, отвечающих за специфические

явления, влияющие на прочность.

Анализ показал, что наиболее целесообразным является установка преобразователя в полюсе мембраны, при этом информативным являются следующие параметры АЭ:

- интенсивность сигналов АЭ ($\dot{N}$) в процессе нагружения детали, характеризующая степень сопротивляемости материала детали нагружению;
- суммарная АЭ (ΔN) регистрируемая в процессе выдержки детали под постоянной нагрузкой, характеризующая деформацию ослабленного места детали;
- скорость спада суммарной АЭ (α) в процессе выдержки детали под постоянной пневмонагрузкой, характеризующая ее статическую прочность, затухание сигналов АЭ, место начального разрушения детали.

Таким образом, все три параметра характеризуют прочность деталей, в то же время каждый из них отвечает за свою специфическую часть явлений, влияющих на суммарную прочность.

Для снятия параметров АЭ деталь нагружалась со скоростью 0,2 кГс/см^2.с до давления, составляющего 60 % от разрушающего, затем происходила выдержка ее под этой нагрузкой в течение 60 сек.

После снятия параметров АЭ детали разрушались повторным пневмонагружением. На основании статического материала получено уравнение регрессии, связывающее статическую прочность детали (Р) с указанными параметрами:

$$P = \frac{B(I)}{I + B(2)\dot{N} + B(3)\Delta N + B(4)/(I + B(5)/\alpha)}, \text{ где}$$

B(I(, B(2),B(3), B(4), B(5) - численные коэффициенты.

Среднеквадратичная погрешность прогнозирования давления разрушения составила + 0,6 кГс/см^2.

Подход, примененный при разработке методики, может быть использован для контроля изделий со сложным напряженно-деформированным состоянием из других композиционных материалов.

Литература:

I. E.P. Papadakis „Sonic and ultrasonic metods for nondestructive testing of catalytic Converter substrates." Materials Evalution, №2, 1976, pp.25-31

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО РЕСУРСА МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛЬФОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АЭ

В высоконапряженных и радиационно опасных энергетических системах широко используются многослойные металлические сильфоны (ММС), служащие для герметизации трубопроводной арматуры. При проектировании и изготовлении в них закладывают 5-6 кратный запас прочности. Тем не менее гарантированный ресурс ММС не всегда отвечает требованиям, а возможность их досрочной разгерметизации полностью не исключена.

В ходе экспериментальных циклических ресурсных испытаний ММС, дополнительно нагруженных внешним или внутренним давлением, регистрировалась скорость счёта АЭ в диапазоне частот ≥ 500 кГц. Обобщенный характер зафиксированной в экспериментах на 72 сильфонах ресурсной акустики ММС представлен на рис.I.

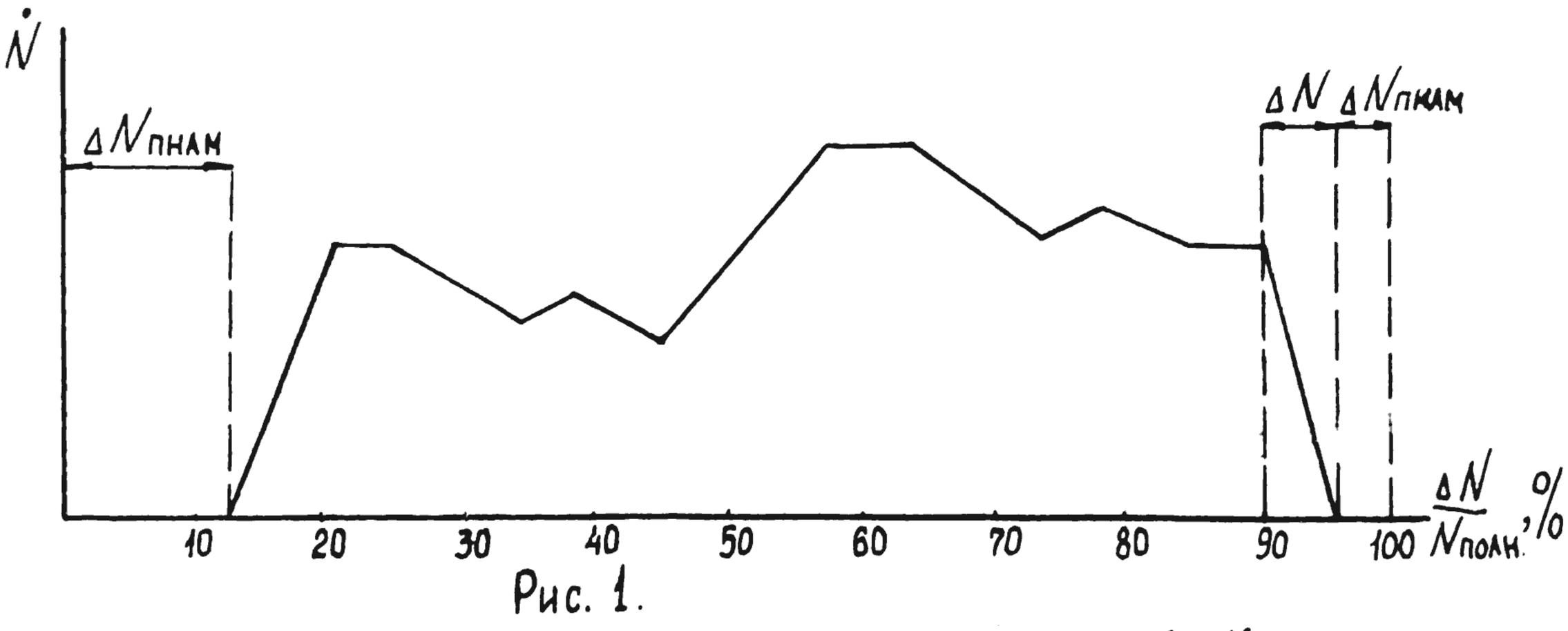


Рис. 1.

Его особенностью является наличие начального ($\Delta N_{пнам}$) и конечного ($\Delta N_{пкам}$) периодов акустического молчания ММС, т.е. периодов отсутствия регистрируемых сигналов АЭ.

Наличие $\Delta N_{пкам}$ позволяет использовать метод АЭ для прогнозирования остаточного циклического ресурса ММС в эксплуатации. Для этого необходимо периодически производить серию контрольных нагружений ММС циклами "расстяжение-сжатие" с регистрацией скорости счёта сигналов АЭ, генерируемых сильфоном.
Если после выработки $\Delta N_{пнам}$ сигналы АЭ регистрируются, можно утверждать, что ММС безотказно проработает последующие $\Delta N_{пкам}$ циклов нагрузки. По экспериментальным данным $\Delta N_{пкам} \geq 1400$ циклов.

В выполненных экспериментах получена также зависимость

$$\frac{\Delta N_{\text{пнам}}}{N_{\text{п}}} = f(C_{\text{G}}), \qquad (\text{I})$$

где $N_{\text{п}}$ - полный циклический ресурс сильфона,

C_{G} - коэффициент жесткости.

Графики зависимости (I) и аппроксимирующие формулы, полученные по методу наименьших квадратов, представлены на рис.2.

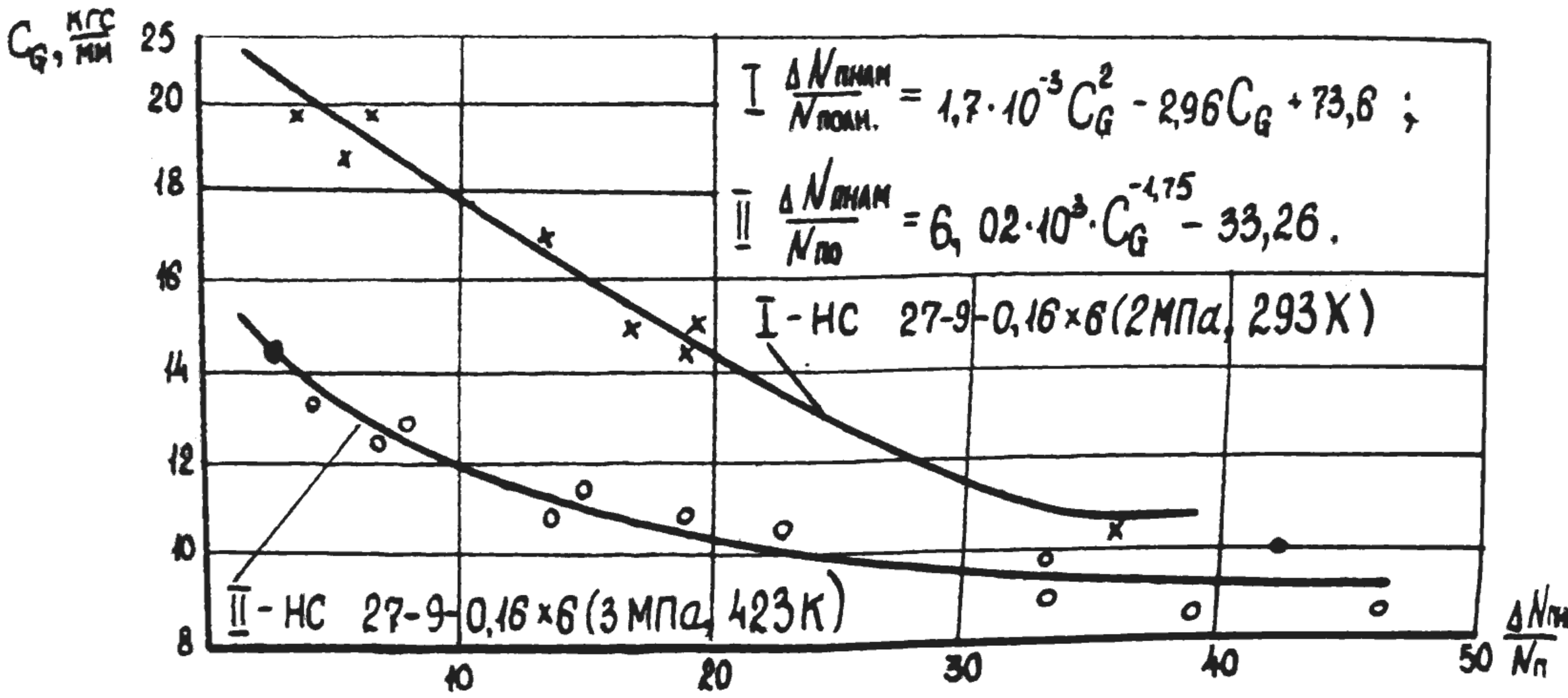


Рис. 2.

Эти зависимости позволяют прогнозировать полный циклический ресурс МИС по предварительно замеренным C_{G} и ΔN пнам.

МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ КАК СРЕДСТВО СОКРАЩЕНИЯ ЭТАПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Д.т.н., проф. Подураев В.Н., к.т.н., м.н.с. Кибальченко А.В.,
асп. Алтуханов В.Н.

В настоящее время интенсивно разрабатывается возможность создания гибких автоматизированных производств, где по расчетам специалистов число работающих может быть в 20 раз меньше, чем на существующих предприятиях. В связи с этим ставятся вопросы сокращения этапа технологической подготовки производства. Одним из методов, которым способен в десятки раз повысить производительность труда при оптимизации процессов механической подготовки производства, является метод акустической эмиссии (АЭ), основанной на регистрации высокочастотных сигналов, генерируемой в зоне резания в результате трения, пластического деформирования, разрушения инструментального и обрабатываемого материалов. При этом наиболее информативным способом обработки сигналов является амплитудное распределение (АР) сигналов АЭ.

Статистическая обработка АР сигналов АЭ показала, что при точении его можно аппроксимировать нормальным законом распределения, а при фрезеровании тем же законом, но с положительным коэффициентом асимметрии, что объясняется прерывистым характером самого процесса резания.

Экспериментально установлено, что оптимальным условиям механической обработки, т.е. максимальной стойкости режущего инструмента, соответствует максимальное значение моды АР сигналов АЭ. Данные зависимости зарегистрированы при выборе оптимальных режимов резания, геометрии заточки инструмента, смазочно-охлаждающей жидкости, обрабатываемости материалов и т.д.

Таким образом, максимальное значение моды АР сигналов АЭ является аналогом стойкости инструмента. При этом наличие математического оптимума позволяет перейти с помощью математической модели процесса резания от нижней экономически целесообразной границы - максимальной стойкости инструмента к ее верхней границе - максимальной производительности оборудования.

Проведение оптимизации на нормальном участке износа режущего инструмента позволяет выразить значение моды АР сигналов АЭ для оптимальных условий механической обработки в стойкостных единицах и установить прогнозируемые значения стойкости инструмента для исследуемых условий механической обработки. Данная возможность прогнозирования

стойкости инструмента открывает большие перспективы для дальнейших экономических расчетов.

Регистрация осредненных значений сигналов АЭ при обработке деталей на станках с числовым программным управлением позволяет получить акустическую картину обработки, которая является своеобразным паспортом готовой детали, гарантом ее эксплуатационных свойств. Кроме того появляется наглядность правильности составленной управляющей программы, а, следовательно, возможность ее оперативного редактирования.

Методика акустической оптимизации процессов механической обработки внедрена на одном из машиностроительных предприятий. За счет снижения трудоемкости испытаний, расхода обрабатываемого материала и инструмента экономический эффект составил 3314 рубля в год.

Авторы : Подураев В.Н.

Кибальченко А.В.

Алтухов В.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

к.т.н. А.А. Барзов, к.т.н. И.А. Тутнов

Проведенные исследования показали, что перспективный диапазон применения АЭ охватывает практически все технологические операции, связанные с изменением формы и структуры материала деталей, а также этап испытания изделий.

Условно АЭ можно классифицировать на два вида - спонтанную и инициированную. Первый тип характерен для технологических операций, на которых АЭ свидетельствует о появлении дефектов или других аномалий структуры, например, растрескивание под действием остаточных напряжений растяжения квазихрупкого материала при его электрохимической обработке. Инициированная АЭ свойственна операциям, при выполнении которых волны напряжений (ВН) генерируются в силу протекания доминирующих физических процессов обработки : разрушения, трения, пластического деформирования (лезвийное и образивное резание, обработка давлением) или при импульсном высокоэнергетическом воздействии (лучевая, электроэрозионная, струйная обработки). В этом случае ВН являются активным фактором технологического воздействия на материал, т.е. реализуется эффект влияния ВН на процессы их порождающие.

На примере обработки материалов резанием было показано, что использование такого подхода позволяет разработать методики экспресс-оптимизации режимов резания, осуществить активный контроль износа инструмента и качества обработанной поверхности. Это приводит к сокращению цикла технологической подготовки механообрабатывающего производства, позволяет оперативно корректировать параметры резания в цеховых условиях, пополнять банк данных об обрабатываемости новых материалов, повысить надежность технологических процессов в гибких автоматизированных системах.

Выполнены исследования и результаты промышленного внедрения показывают, что метод АЭ обладает широкими технологическими приложениями, которые связаны не только с решением традиционных задач дефектоскопии, но и позволяют по новому подойти к изучению физики процессов обработки, создать надежные средства их диагностики.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА

В.Г. Возжаев, А.Л. Ерминсон, С.С. Жуковский,
А.М. Лазарев, Л.Ю. Однопозов, С.Н. Шрейбер

Вопрос неразрушающего контроля качества продукции, а также непрерывной диагностики состояния технологического оборудования и инструмента в процессе производства особенно остро встал в последнее время в связи с повсеместным внедрением полуавтоматических линий и робототехники. В этих условиях метод акустической эмиссии (АЭ) является одним из предпочтительных, а зачастую - и единственным. Это видно на примере опытной эксплуатации на Волжском автозаводе ряда приборов АЭ, разработанных НПО „Дальстандарт".

Прибор ПКР предназначен для АЭ-контроля возникновения трещин при рихтовке валов привода передних колес автомобиля ВАЗ-2121 „НИВА". Предварительные исследования показали перспективность использования метода для контроля данной операции. Использование прибора позволяет совместить контроль детали непосредственно с процессом выполнения технологической операции рихтовки. При этом существенно снижается трудоемкость контроля и влияние субъективных факторов. Прибор обеспечивает надежное выделение сигналов АЭ из производственных шумов, в первую очередь - шумов рихтовочного пресса.

Более сложной была задача контроля износа пушечных сверл при глубоком сверлении автомобильных распределительных валов. В настоящее время на автоматических линиях глубокого сверления не существует оперативных методов и средств оценки технического состояния сверл. Отсутствие постоянной информации о степени износа сверла и его затуплении не позволяет своевременно произвести их замену, что приводит к поломкам дорогостоящих сверл и неплановым остановкам автоматических линий. Прибор ДСС-5АЭ, разработанный для контроля сверл на автоматических линия типа „Ротор", позволил с большой достоверностью определять изношенные сверла. При этом прибор надежно выделяет сигналы АЭ, возникающие в процессе резания из шумов, а также определяет по характеристикам сигнала степень износа сверла. Кроме этого прибор решает задачу определения номера изношенного сверла, т.к. на линии производится одновременное сверление пяти валов пятью сверлами, причем валы акустически связаны между собой элементами конструкции.

Прессовое производство Волжского автозавода, насчитывающее более

800 прессов, предполагает переход от системы планового ремонта прессового оборудования к ремонту по конкретному техническому состоянию. Для решения задач диагностики технического состояния прессов были разработаны приборы типа ДСП-5 и ИКА, которые предназначены для определения характерных дефектов (типа „усталостная трещина" и „сухое трение") в наиболее „опасных" силовых элементах. Контролю подвергались шатуны, ползуны, опоры кривошипных валов, направляющие ползунов, станины мощных прессов фирм „Innocenti" и „Raskin". Контроль производился на фоне мощных акустических шумов и ударов, а также электромагнитных помех, характерных для прессового производства, что потребовало усовершенствовать традиционные схемы селекции сигналов. Прибор ДСП-5 построен на принципе сравнения текущего параметра N_j (в данном случае суммарного счета АЭ), измеряемого за определенный промежуток времени, с эталонным значением $N_{эт}$. При этом степень работоспособности узла пресса оценивается параметром :

$$Q = \sum_{j=1}^{n} Q_j , \qquad Q_j = \begin{cases} N_j - N_{эт} , & при \ N_j > N_{эт} \\ 0 , & при \ N_j \le N_{эт} \end{cases}$$

В приборе ИКА-I используется принцип определения текущих вероятностных характеристик нестационарного случайного процесса за определенный промежуток времени и сравнения их с предыдущими, определенными ранее. При этом за единичную реализацию случайного процесса принимается сигнал, полученный с датчика АЭ за один такт работы пресса. В качестве измеряемых характеристик приняты функции распределения и функция плотности вероятности амплитуды сигнала АЭ.

В докладе приводятся принципы построения приборов ПКР, ДСС-5АЭ, ДСП-5 и ИКА, их структурные схемы, основные технические данные и характеристики, а также результаты производственных испытаний приборов и рекомендации по их внедрению на машиностроительных предприятиях.

УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ.

Д.т.н., проф. Подураев В.Н., к.т.н., м.н.с. Кибальченко А.В., асп. Бабак С.П.

Создаваемые высокопроизводительные комплексы в условиях гибких автоматизированных производств должны предусматривать управление процессом механической обработки, включающее в себя активный контроль состояния режущих инструментов, их автоматическую замену, адаптивную поднастройку процесса резания с целью получения заданного качества обрабатываемой поверхности.

Проведённые в МВТУ им. Н.Э. Баумана исследования показали, что решение поставленной задачи возможно только путём комплексного изучения взаимообусловленной совокупности энергетических превращений, которые имеют место в зоне формо- и стружкообразования. Отличительная черта этих превращений заключается в их ярко выраженной неравновесности - причине возникновения динамических эффектов резания различной физической природы. Наиболее энергоёмким волновым процессом на операциях механической обработки является акустическая эмиссия /АЭ/, возникающая в элементах системы "станок - приспособление - инструмент - деталь" при любой локальной динамической перестройке полей механических напряжений на макро-и микроуровнях. Принципиальная схема измерения сигналов АЭ следующая. Волны напряжений, генерируемые в зоне резания, распространяются по телу инструмента и достигают его свободной поверхности, упругие перемещения которой фиксируются датчиком. Сигнал с датчика поступает на предварительный усилитель, блок первичного преобразования сигналов, а затем на анализатор импульсов АИ-256-6. Сигналы АЭ регистрируются в диапазоне I00 кГц - I мГц, чем обеспечивается необходимая помехозащищённость измерительного тракта от вибраций системы "станок - приспособление - инструмент - деталь". В качестве приёмных датчиков применяются пьезоэлектрические преобразователи с чувствительным элементом ЦТС-I9.

Ключом к проблеме управления механической обработкой является создания метода активной диагностики состояния режущего инструмента. Анализ проведённых исследований позволил сделать вывод, что наиболее чувствительным параметром амплитудного распределения /АР/ сигналов АЭ к изнашиванию инструмента является число импульсов моды, которое по мере увеличения износа растёт, а дисперсия распределения уменьшается.

Однако недостатком применения практически всех размерных парамет-

ров сигналов АЭ для контроля износа режущего инструмента на автоматизированном оборудовании является их высокая чувствительность к смене инструмента, т.е. к изменению акустического сопротивления волноводного тракта "зона резания - датчик". Поэтому был предложен безразмерный комплекс АР сигналов АЭ, который представляет собой отношение числа импульсов в узком диапазоне амплитуд к общему числу импульсов за определённое время экспозиции. Данный комплекс за счёт некоторого снижения точности измерений позволил учесть статистический характер процесса резания и снизить чувствительность предлагаемого способа контроля к условиям контакта "фреза- переходная втулка - шпиндель станка" или "резец- резцедержатель" по сравнению с размерными величинами сигналов АЭ в 5 - I0 раз. Физически безразмерный комплекс определяет отношение энергии в области амплитуд, наиболее чувствительных к процессу изнашивания, ко всей акустической энергии, генерируемой в зоне резания.

Для приборной реализации предлагаемого подхода к анализу сигналов АЭ был разработан и изготовлен целевой прибор активного контроля состояния режущего инструмента.

Переход от контроля состояния инструмента на обычном оборудовании к автоматизированному не является чисто механическим. Особенность его заключается в том, что сигналы АЭ содержат информацию не только об износе инструмента, но и о нестационарно изменяющихся режимах обработки: скорости, подаче, глубине резания, твёрдости обрабатываемого материала и т.д. Поэтому задача ставится таким образом, чтобы в любой момент времени уметь выделить интересующие нас технологические характеристики процесса резания. Это возможно только на базе управляющей электронно-вычислительной машины, в память которой заложены предварительно полученные зависимости: "значения нестационарных элементов резания - значения параметров сигналов АЭ". При этом, получая информацию в процессе обработки о нестационарных элементах резания, например с блока ЧПУ, по ним, с помощью ЭВМ, определим соответствующие значения сигналов АЭ, а сравнивая последние с сигналами АЭ из зоны резания, выделим ту часть полезной информации, которая соответствует, например, только величине износа режущего инструмента.

Целевой прибор активного контроля состояния режущего инструмента был внедрён на одном из машиностроительных заводах при фрезеровании. За счёт увеличения срока службы инструмента экономический эффект составил II734 рубля на один станок в год.

Подураев В.Н. Кибальченко А.Б. Бабак С.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ МЕТОДОМ АЭ ПРИ ОПРЕССОВКЕ ЧУГУННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

А.И.Ляшков, В.Н.Савельев

Ряд методических разработок, проведенных в лаборатории физики прочности ФТИ АН СССР им.А.Ф.Иоффе,связанных с исследованием АЭ при деформировании и разрушении металлов, позволили выявить корреляционные зависимости между параметрами АЭ и размерами образующихся в материале трещин, что дает возможность прослеживать все указанные этапы разрушения по изменению регистрируемых параметров акустических сигналов.

С целью определения количества иразмеров образующихся под нагрузкой в исследуемых объектах трещин изучались изменения активности АЭ и амплитуд АС. Экспериментальные исследования, выполненные в лабораторных условиях, показали, что начальная стадия разрушения связана с рассеянным накоплением микротрещин на поверхности и в объеме материала. При этом процесс характеризуется амплитудным спектром, соответствующим распределению микротрещин по размерам в определенном диапазоне, обусловленном структурой материала. Заключительная стадия разрушения сопровождается увеличением удельного веса больших амплитуд и отражает процесс укрупнения трещин.

На основе сопоставления кинетики накопления и укрупнения микротрещин для образцов с надрезами и гладких образцов развита методика выделения очага разрушения или формирующейся макротрещины из общей АЭ от рассеянного зарождения микротрещин.

Апробация разработанной методики регистрации и анализа АЭ была произведена в заводских условиях при опрессовке чугунных напорных труб. Показано, что зависимости изменения параметров АЭ при испытаниях труб, содержащих дефекты, существенно отличаются от зависимостей для бездефектных экземпляров.

Установлено, что метод АЭ позволяет производить отбраковку дефектных труб при нагрузках,существенно меньших, чем предусмотренно штатными испытаниями.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ГИДРОШТАМПОВКЕ

Бунина Н.А.

Гидроштамповка заключается в том, что трубную заготовку, установленную в полости разъемной матрицы, подвергают осадке осевыми пуансонами одновременно с раздачей жидкостно высокого давления, подаваемой в полость заготовки с двух сторон. Трубная заготовка принимает форму матрицы. Такая схема позволяет получать детали с постоянной толщиной стенки при высоком значении коэффициента раздачи ($К_д$= I,9÷2,2).

Полное соответствие формы готовой детали и полости матрицы определяется значением величины тангенциального напряжения возникающии в процессе нагружения в стенке заготовки. Достижение значений, сравнимых с пределом прочности $\sigma_в$, приводит к разрыву стенки заготовки, а малые значения $\sigma_в$ обуславливают недоформовку детали или образование поперечных гофров.

Одной из важнейших задач в решении проблемы внедрения в промышленность гидроштамповки является создание методов и средств контроля режимов гидроштамповки, формы и качества обрабатываемых деталей. Для этой цели был использован акустоэмиссионный метод. Информативные параметры АЭ, зарегестрированные при разрыве стенки заготовки, при недоштамповке и при получении качественного изделия носили соответственно различный характер, т.е. качественность изделия при гидроштамповке определяется величиной возникающих при обработке заготовок сигналов.

На основании сделанного анализа установлена возможность производить отбраковку изделий по развивающимся трещинам, обеспечивать точность изготовления, определять степень деформации заготовки, а также автоматически управлять технологическим процессом изготовления изделий (регулировать режим давления и другие параметры). При этом экономится дефицитный металл, высвобождается оборудование, необходимое для дополнительной обработки отбракованных изделий. Опытная установка прошла лабораторные испытания на базе ЛПИ и предложена к промышленному внедрению на Волжском автомобильном заводе.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СЕРДЕЧНИКОВ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ПРИ ИХ ПРАВКЕ

В.В.Казаков, В.И.Петров, Н.А.Челышев,
Г.А.Червов

Одним из перспективных методов неразрушающего контроля, интенсивно развивающимся в последнее время, является метод, основанный на регистрации сигналов акустической эмиссии. Эти сигналы возникают в материале в результате процессов деформации или разрушения. После регистрации этих импульсов с помощью пьезопреобразователей, находящихся в контакте с исследуемым объектом, соответствующего их усиления и обработки, можно судить о протекающих в материале процессах.

На Новосибирском стрелочном заводе была проведена работа по выявлению возможности контроля качества сердечников стрелочных переводов во время их правки методом акустической эмиссии. В настоящее время для контроля за качеством изготавливаемых сердечников пользуются следующим способом. После правки на 250-тонном прессе сердечники укладываются на стеллажах и производится их визуальный осмотр с выделением наиболее опасных дефектов в виде трещин, неспаев, скоплений микротрещин и других дефектов, выходящих на поверхность. На тщательный осмотр всей поверхности сердечника требуются значительные затраты времени, а также остается высокая вероятность того, что опасный дефект не выявлен, что может привести в дальнейшем к значительным материальным затратам. В случае внедрения метода акустической эмиссии в процессе правки сердечников, надежность контроля за их качеством значительно возрастет.

Схема правки сердечника следующая. Сердечник укладывают на опоры, представляющие собой два металлических стержня, диаметром 40 мм и давят сверху штоком, на который, при помощи упругого крепления устанавливали пьезопреобразователь с предварительным усилителем. С выхода предварительного усилителя сигналы поступают на основной усилитель, одновременно выделяющий сигналы в узкой полосе (3 кГц) частотного диапазона 50 кГц - I,5 МГц. После основного усилителя сигналы, в зависимости от их амплитуды, поступают на счетчики импульсов, а также на самописец.

Для выявления воздействия шумов на показания регистратора акустической эмиссии, были проведены замеры на частотах 50 - 500 кГц при работающем цеховом оборудовании. Также, с целью выяснения влияния, оказываемого движением штока, включали пресс на холостом

ходу, при работающем оборудовании в цехе, и регистрировали сигналы, поступающие на счетчики. Из анализа полученных данных видно, что на частоте I75 кГц сигналы акустической эмиссии от сердечника в момент правки заметно превышают шум работающего оборудования в цехе. Правка на прессе осуществляется, при необходимости, в нескольких местах сердечника: в утолщенной части (начало), в середине и в конце. Длительность процесса правки колеблется от I с до 5 с. Были получены данные, характеризующие распределение суммарной акустической эмиссии.по трем уровням, на частоте I75 кГц, для ряда сердечников, подвергнутых правке в начале. Чтобы можно было сравнивать между собой данные, полученные при правке различных сердечников, суммарную акустическую эмиссию относили ко всему времени правки. Из анализа данных видно, что при правке в утолщенной части дефектных сердечников, которые бракуются после визуального осмотра из-за н наличия скоплений микротрещин в начале, суммарная эмиссия и интенсивность акустической эмиссии значительно выше (в 4 раза) значений, полученных при такой же правке бездефектных сердечников или сердечников, имеющих дефекты, поддающиеся устранению (путем завара или шлифования).

Сравнивая полученные результаты, видно, что при нагружении сердечников с дефектами, находящимися в зоне правки и подверженными воздействию растягивающих напряжений, излучаются сигналы акустической эмиссии с более высокой энергией и интенсивностью, чем сигналы, регистрируемые в процессе правки бездефектных сердечников. Это свидетельствует о возможности использования метода акустической эмиссии в качестве неразрушающего контроля сердечников стрелочных переводов при их правке, непосредственно в цехе.

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРАВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Е.А.Шур, В.И.Урбах

При холодной правке объемнозакаленных рельсов на роликоправильных машинах /РПМ/ на Нижнетагильском металлургическом комбинате НТМК/ имели место случаи образования продольных трещин вдоль шейки рельса. В большинстве случаев эти трещины начинаются от поверхностного дефекта на шейке рельса типа волосовины.

В ряде случаев трещины имели длину до нескольких метров и занимали больше половины сечения шейки, однако раскрытие трещин очень невелико и края, как правило, плотно прилегают друг к другу. В связи с этим визуальный осмотр рельсов не позволяет полностью предотвратить выход с завода и попадание в путь рельсов с трещинами.

С целью исследования возможности низкочастотного бесконтактного метода контроля трещинообразования в шейке рельса и разработки соответствующей аппаратуры были проведены исследования спектра сигналов акустической эмиссии /АЭ/ при образовании трещины, а также измерен спектр мешающих шумов цеха. Для воспроизведения разрушений рельсов при правке наносились искуственные дефекты по шейке рельсов в виде ожога электродом длиной 500, I00 и I0 мм. Измерения производили шумомером фирмы "Брюль и Къер" типа I6I4 на частотах отличающихся на октаву : 4,8,I6 и 3I,5 кГц. Анализ распределения, расчитанных по методу малых выборок доверительных интервалов измеренных сигналов, показал, что с целью регистрации сигналов АЭ, вызванных трещинообразованием в шейке рельса, на фоне мешающих шумов цеха необходима частотная фильтрация сигналов с полосой прозрачности выше 8 кГц, а также их пространственная и амплитудная селекция.

Разработаны методика контроля и двухканальный акустический регистратор дефектов /АРД/, состоящий из электронного блока и двух выносных микрофонов. Первый канал регистратора осуществляет амплитудную и частотную селекцию сигналов АЭ. Второй канал служит для устранения ложных срабатываний регистратора от фоновых шумов цеха путем их пространственно-временной селекции.

Функциональные и принципиальные схемы первого и второго каналов идентичны.

Заводские испытания АРД проводились в термоотделении рельсобалочного цеха НТМК. Электронный блок АРД и световое табло, загорающееся при обнаружении дефекта в рельсе, были установлены на посту управления правильными машинами, а приемные микрофоны расположены в непосредствен-

ной близости от РПМ. Одновременно с испытаниями прибора проводились исследования различных способов правки с целью предотвращения трещинообразования в шейках рельсов. АРД показал высокую достоверность обнаружения трещинообразования в рельсах с искусственными концентраторами при всех исследованных режимах правки.

Во время опытно-промышленной эксплуатации АРД на НТМК при правке двух рельсов был зафиксирован акустический сигнал трещинообразования. Наличие разрушения в рельсах было подтверждено ультразвуковым и металлографическим исследованием.

РЕГИСТРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ОТ ДЕФЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Г.Л.Жиденко, В.Г.Пономаренко

Современные морские суда строятся из протяженных сварных пространственных секций, имеющих сложные погибы. Наиболее подходящим видом контроля, позволяющим оперативно, т.е. в процессе сварки, выявлять сварочные дефекты на таких конструкциях, является регистрация сигналов акустической эмиссии (АЭ). Однако возникают специфические трудности по следующим причинам: I. наличие мощных вибрационных, акустических и электромагнитных помех; 2. большая протяженность контролируемых сварных соединений; 3. одновременное выполнение нескольких технологических операций на одной секции; 4. переменная кривизна контролируемой поверхности; 5. применение сложных сварных соединений, в том числе многопроходных. Перечисленные трудности возможно преодолеть двумя способами: I. созданием автоматических систем перемещения датчика АЭ по заданной программе с помощью дефектоскопического робота[I]; 2. созданием одноканальных контрольных приборов АЭ индивидуального пользования, обладающих автономностью, малогабаритностью и малым весом. Информация о недопустимых дефектах выдается с помощью звуковых и световых сигналов по логической схеме "ДА - НЕТ". Ручное и автоматическое перемещение датчика АЭ с направленным приемом позволяет определять дефектную зону остывающей сварочной ванны[2].

Логическая структура электронной аппаратуры для обработки импульсных сигналов АЭ в процессе сварки основана на предварительно исследованных информативных параметрах. При регистрации сигналов АЭ от дефектов типа несплавлений и ветвящихся неметаллических включений[3]в процессе многопроходной сварки в среде CO_2 наиболее информативным оказался параметр, который условно назван амплитудно-селективной активностью АЭ, т.е. суммарное, за время интегрирования, количество импульсов в узкой амплитудной полосе~5 дБ. На Рис.I приведен амплитудный спектр АЭ (количество импульсов N , как функция амплитуды A),характерный для дефектов типа несплавлений.

Электронное устройство[4], регистрирующее сигналы АЭ, состоит (Рис.2) из направленного датчика с предусилителем в ферромагнитном экране (I,2); полосового фильтра (3); усилителя (4), сигналы с которого подаются на два компаратора (I2, I3) для выделения необходимой амплитудной полосы с помощью блоков опорного напряжения (I4, I5);

дополнительных логических структур: ячеек "И" (II), "НЕ" (6), линии задержки (5), дискриминатора (7), преобразователя (8), триггера (9), повышающих информативную достоверность регистрируемых сигналов АЭ, а также интегрирующего усилителя (I6) с компаратором (I7), блоком опорного напряжения (I8) и схемы индикации (I0).

Опытные образцы макетов описанной аппаратуры испытаны в условиях судостроительного производства.

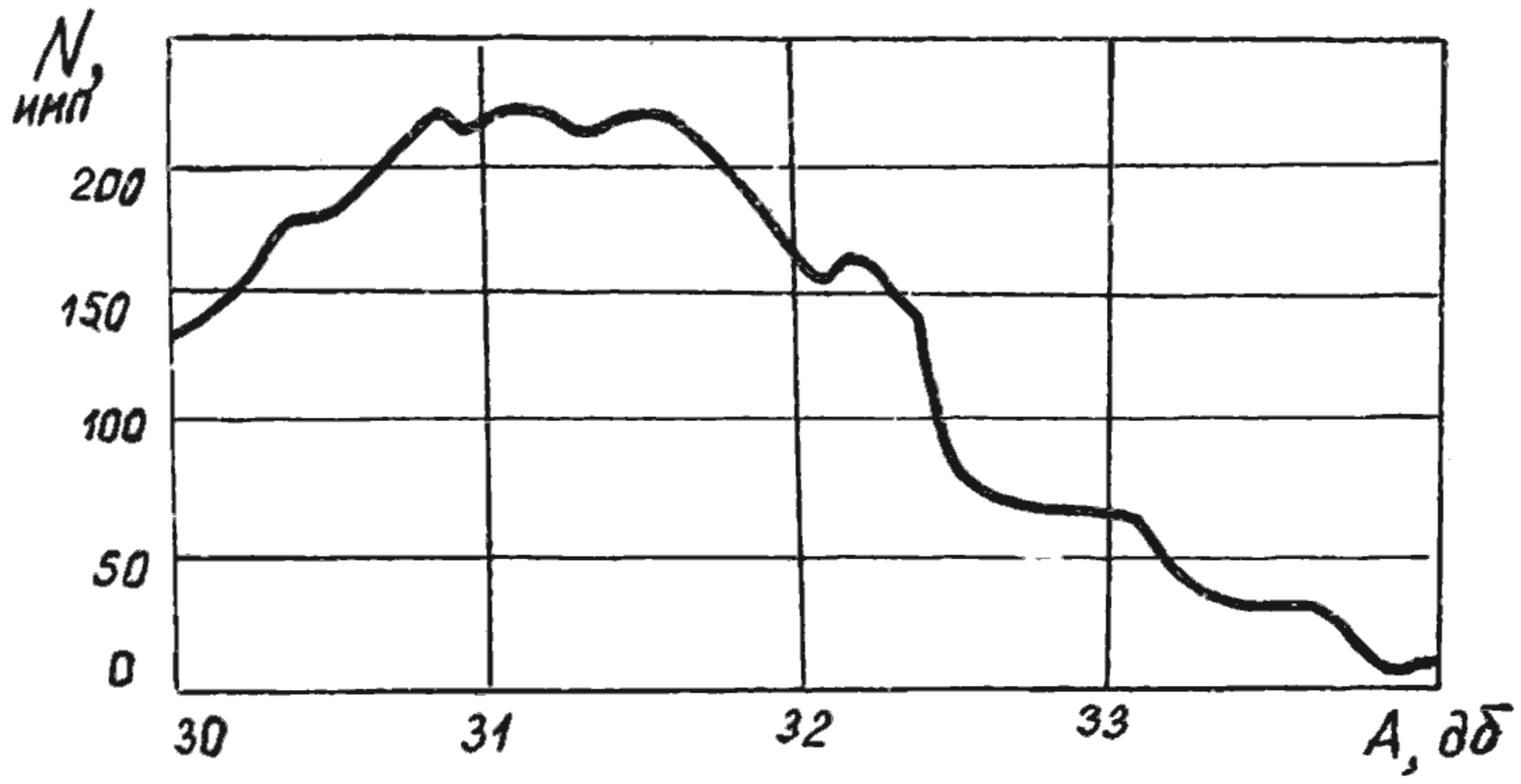


Рис. I

Зона селективной активности амплитудного спектра АЭ

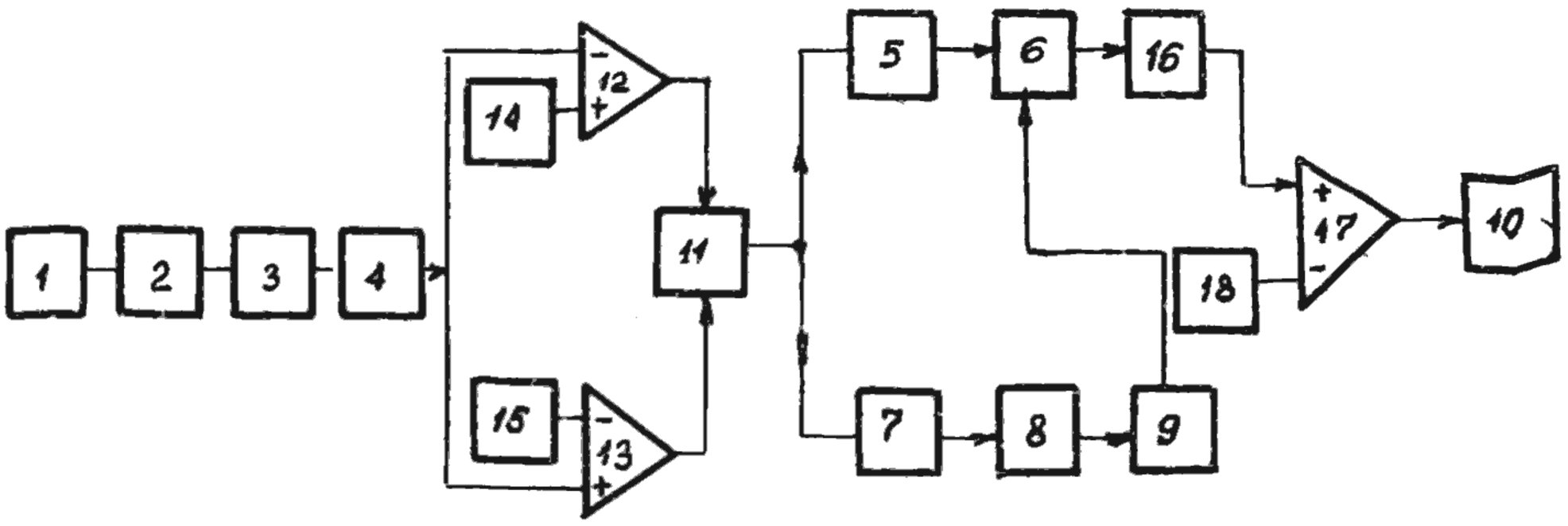


Рис. 2

Блок-схема анализатора селективной активности АЭ

Литература:

I. Информационный листок ВИМИ № 83-0337. Дефектоскопический робот.

2. Г.Л.Жиденко. "Ограниченная направленность датчиков АЭ для активного контроля протяженных сварных соединений". Дефектоскопия,№ I2, I98I г.

3. В.В.Шип, Г.Л.Жиденко. "К распознаванию образов дефектов при

оперативной диагностике качества сварки". Авт. сварка, № 9, I982 г.

4. Г.Л.Жиденко, В.Г.Пономаренко, А.В.Пелых, А.А.Блехер. "Акустико-эмиссионное устройство". Авт.свид. № I067430.

АЭ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В.Г. Батуев, Б.К. Гавриленко,
В.П. Ченцов, О.И. Юсупов

Наиболее распространенными дефектами сварных соединений из титановых сплавов являются поры и вольфрамовые включения, но одна из основных проблем - контроль качества защиты инертными газами зоны сварки, недоступной для визуального контроля. Существующие методы не обеспечивают необходимой достоверности контроля качества защиты.

Известно, что поры и вольфрамовые включения создают в этих соединениях концентрацию напряжений. При нарушении защиты зоны сварки образуются газонасыщенные области с повышенной твердостью и сниженной пластичностью. Под действием внутренних напряжений сварного соединения указанные дефекты могут стать источниками АЭ.

Исследования проводились в промышленных условиях, с помощью специально разработанного прибора ОКСА-I, при стыковой сварке труб диаметром 8,I6 и I8 мм с толщиной стенки, соответственно: I,5; I,8 и 2,5 мм. Сварка осуществлялась на автоматах неплавящимся электродом, с присадкой, в среде аргона. Контроль АЭ проводился сразу после окончания сварки. Регистрировалось время пребывания сигналов (ВПС) АЭ выше априорно установленного уровня в течение трех минут через пятисекундные интервалы. Уровень регистрации, приведенный ко входу, равнялся 4 мкВ в полосе 20 кГц и был выбран исходя из уровня производственных помех. Измерения проводились на центральной частоте 200 кГц.

Анализ результатов контроля проводился по суммарным значениям ВПС, максимумам ВПС за пятисекундные интервалы и по характеру временной зависимости АЭ. В качестве браковочного признака использовались пороговые значения ВПС, установленные на основании верхних границ доверительных интервалов, рассчитанных по результатам контроля качественных швов. Для труб диаметром 8мм они, соответственно, равнялись 7,4 мс и 2,8 мс, а для труб диаметром I8 мм - I6,4 и 4,6 мс.

Отмечено, что независимо от качества сварных соединений через I-2 с после окончания сварки в течение 3-5 с наблюдается АЭ от пластических деформаций металла шва при его остывании.

Исследование зависимости АЭ от качества защиты сварных соединений

проводилось при различной степени их насыщения активными к титану газами. Насыщение производилось путем уменьшения расхода защитного газа или подачи в зону защиты смеси аргона с азотом, кислородом или воздухом. При этом доля по весу активной части смеси изменялась, в основном, от 0,I до I,0 %. Проведены эксперименты с использованием влажного аргона.

Выявлено, что при сварке в условиях свободной усадки шва внутренних напряжений недостаточно для надежного контроля. При стесненной усадке шва (в зажимах сварочного автомата) возникают дополнительные напряжения, позволяющие обнаружить нарушение защиты. При этом минимальные браковочные значения ВПС соответствовали цветам побежалости: для шва - от серебристого до сине-зеленого, а для зоны термического влияния - от синего до голубого. Металлографический анализ показал, что такие соединения имеют на поверхности пленку с микротвердостью H_{100} = 300 - 400 кг/мм^2 и толщиной менее 0,I мм. Установлено, что величина ВПС зависит от процентного содержания вредных газов в смеси.

Выявляемость пор, в данной работе, составила от 80 до 90 %, а вольфрамовых включений - от 30 до I00 %. Однако отмечено, что большая часть дефектов значительно превышала допустимый размер. Отмечена и перебраковка по этим типам дефектов от 5 до 20%. Это связано, вероятно, с тем, что существующие критерии разбраковки основаны лишь на размерах дефектов и не учитывают напряженнодеформированного состояния сварного соединения.

В отдельных случаях были замечены характерные признаки временной зависимости АЭ для однотипных дефектов, однако, достоверно идентифицировать тип дефекта не удалось.

При металлографическом анализе соединений с насыщением газами всего объема сварного шва в некоторых шлифах были обнаружены трещины. По эмиссионным характеристикам эти сварные соединения не выделялись из данной партии.

По результатам исследований рекомендовано опытное промышленное внедрение АЭ метода.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛИ 06Х8Г2М МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Б.П.Пилин В.А.Докучаев Н.В.Кириличев

Для замены теплостойких легированных сталей марок IX2MI, I5X5M, I5X5MУ, X9M, I5X5BФ, I2X8BФ, которые обладают низкой трещиноустойчивостью при сварке, разработана унифицированная трубная сталь марки 06Х8Г2М. Предварительные исследования свариваемости этой стали показали ее более высокую стойкость против образования трещин.

С целью выбора электродов и поиска путей упрощения технологии сварки стали 06Х8Г2М электродами аустенитного и перлитного классов, а также для изучения коррозионной стойкости стали 06Х8Г2М и ее сварных соединений в различных агрессивных средах, наряду с другими методами исследований был применен метод акустической эмиссии (АЭ).

Для исследований использовалась аппаратура АЭ серии 3000 фирмы "Данеган-Эндевко" (США). Предварительно была проведена оценка уровня электро-акустических шумов, на основании которой выбраны величины отсечки сигналов АЭ по шумам, диапазон частот, усиление и др. параметры аппаратуры, а затем определены исследуемые параметры сигналов АЭ (изменение амплитуд импульсов АЭ во времени, распределение амплитуд, N_Σ, N, $\dot{N}$ и др.). Данные метода АЭ сопоставлены с результатами металлографического анализа и др.методов исследований.

Результаты показали эффективность применения этого метода для изучения в реальном масштабе времени процесса образования трещин в статически нагруженных сварных соединениях стали 06Х8Г2М и при исследовании их коррозионной стойкости, позволяя проводить оперативный поиск и выбор оптимальных электродов, режимов технологии сварки и условий эксплуатации в агрессивных средах. В частности, метод АЭ позволяет заранее, до разрушения образцов, за 20÷30 % от всего времени испытания в растворах $NaOH$ и $HaCl + H_2S$ и за 40÷50 % времени в растворе $MgCl_2$ регистрировать факт начала коррозионного растрескивания.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ СВАРКИ НА ПО "УРАЛМАШ"

В.В.Волков, И.Ю.Иевлев, В.В.Лаптев, В.И.Панов, А.А.Богданов, Л.В.Лять

Оборудование и машины, выпускаемые ПО "Уралмаш", отличаются высокой единичной мощностью (экскаваторы, прессы, прокатные станы и др.). При изготовлении крупногабаритных тяжелонагруженных деталей этого оборудования широко применяется сварка. Однако современный уровень технологии сварочного производства далеко не всегда гарантирует обеспечение необходимой прочности сварных соединений, особенно, если сварка выполняется в экстремальных условиях (большие сечения металла, термически упрочняемые стали, пониженные температуры, ограниченность или полная невозможность проведения термообработки), когда велика вероятность разрушения изделия. Анализ аварийных разрушений показал, что причиной их чаще всего являются холодные трещины / I /.

Исследования, выполненные на образцах и технологических пробах / 2 /, подтвердили возможность раннего обнаружения холодных трещин в процессе сварки с помощью сравнительно простой одноканальной акустико-эмиссионной (АЭ) аппаратуры в сварных швах протяженностью до двух метров, выполняемых без технологических прихваток / 3 /. Эта возможность в большинстве случаев определяется значительным превышением амплитуды сигналов АЭ от трещин над уровнем акустического фона сварки, включая растрескивание шлаковой корки (сварка ручная дуговая штучными электродами и полуавтоматическая в среде CO_2).

Для выявления трещин на реальных объектах в ЦНИИТяжмаше разработан, изготовлен и испытан специализированный малогабаритный прибор - индикатор развивающихся трещин ИРТ-2. Прибор имеет светодиодную индикацию наиболее мощных сигналов АЭ; пороговая чувствительность индикатора, установленная по результатам предварительных исследований, обеспечивает регистрацию сигналов АЭ только от трещин (длина 5...I0 мм и более). Высокая помехоустойчивость приема сигналов АЭ, особенно важная для заключения о дефектности сварки по единичному акустическому событию, достигнута за счет схемного решения (анализ сигнала по энергии в двух частотных диапазонах) и размещения преобразователя сигналов АЭ, электронной схемы и автономного источника питания в одном корпусе. Индикатор устанавливается непосредственно на волновод, расчитан на

непрерывную работу в течение 40 часов и в связи с простотой обслуживания и расшифровки результатов контроля не требует специально подготовленного оператора. Разработанная совместно с ПО "Уралмаш" методика контроля качества сварки с успехом применяется при проведении ремонтной сварки и рекомендована для контроля монтажной сварки крупногабаритных деталей и конструкций. Использование акустико-эмиссионного контроля позволяет значительно повысить надежность сварных соединений и обеспечивает экономию металла, снижение трудоемкости и топливно-энергетических затрат.

Накопленный опыт работы с индикатором ИРТ-2 может быть применен на других машиностроительных заводах, использующих сварку в аналогичных условиях.

Литература:

I. Кудинов В.Д., Панов В.И., Шапиро Г.С. Технологическая прочность толстостенных сварных соединений из стали I4Х2ГМР. - В сб.: Производство крупных машин. Сварка стальных конструкций. М., Машиностроение, I975, вып. ХХУ.

2. Иевлев И.Ю., Волков В.В., Панов В.И., Лаптев В.В., Богданов А.А. Проблемы акусто-эмиссионного контроля сварки изделий тяжелого машиностроения. - Метрологическое обеспечение средств неразрушающего контроля на основе акустической эмиссии и пути ускорения их внедрения на предприятиях края: Тез.докл.научно-технической конференции, Хабаровск, I983, с.9-I0.

3. Гавриленко Б.К. Контроль сварных соединений АЭ-методом.- там же, с.7-8.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ЗАМЕДЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБАХ

Б.К. Гавриленко

Развитие существующих представлений о замедленном разрушении сварных соединений высокопрочных низколегированных сталей в большой мере связано с возможностями определения температурно-временных параметров зарождения и роста трещины в технологических пробах / I,2 /. Эта задача может быть решена путем точного определения координат источников АЭ с использованием двухканальных приборов, принцип работы которых заключается в измерении временных интервалов между моментами поступления сигналов АЭ на два приемных преобразователя (ПП), располагаемых в противоположных концах контролируемого сварного шва /I/. В связи с этим возникает проблема изучения возможностей данного метода применительно к указанной задаче.

Исследования проведены для широко распространенных технологических проб типа Лихай и Теккен /2/ с использованием прибора ИКД-I28 /I/ и лабораторного макета. Порог разрешения прибора - 0,5 мм, макета - 0,06 мм. Размеры проб - 200×I50 мм. Толщина, как правило, находится в пределах 20-30 мм.

Изучение распространения и приема сигналов от имитатора АЭ и реальных сигналов показало, что необходимую точность измерений координат обеспечивает прием, с помощью ПП, имеющих основной резонанс на частотах 2-3 МГц, продольных волн. При этом необходимо учитывать диаграммы направленности источников АЭ и ПП, а также наличие в данных пробах зон дифракции, обусловленных отверстиями и вспомогательными сварными швами /2/.

Установлено, что зона оптимальных условий приема сигналов АЭ находится на расстоянии 30-40 мм от продольной оси пробы. При установке в этой зоне ПП возникают систематические погрешности измерений координат, связанные с отклонением реальной схемы измерений от условно принятой (принято, что источники АЭ и точки установки ПП лежат на одной прямой). Величина погрешности этого вида является возрастающей от нуля функцией координаты источника АЭ относительно середины пробы и, практически, влияет только на неравномерность шкалы прибора. При необходимости она может быть скомпенсирована при обработке результатов измерений или аппаратурным путем.

Исследована точность измерителей координат, как комплексных систем, содержащих ПП, блоки селекции сигналов АЭ и определения координат источников АЭ. Исследования проводились на составных образцах при образовании поперечных трещин /3/. Сварной шов накладывался поперек стыка образца. ПП устанавливались вдоль оси шва. При такой схеме измерений трещина воспринимается как точечный источник АЭ. Трещина получалась при изгибе образца. Координаты излучений соответствовали различным точкам зоны контроля в технологических пробах. Измерения проводились при порогах разрешения аппаратуры, равных 0,5 и 0,I мм. В последнем случае использовалась специальная методика обработки результатов, позволяющая производить оценку измерений с погрешностью менее 0,I мм. По результатам исследований сделан вывод о возможности измерений координат источников АЭ с погрешностью 0,I-0,2 мм.

Проведены измерения координат источников АЭ, при пороге разрешения I мм, в процессе замедленного разрушения в технологических пробах. Установлено, что число отсчетов координат зависит от исследуемых материалов и характера развития трещины, однако в большей части экспериментов хорошо выявляются центры зарождения трещин, прослеживается их развитие. Температурно-временной интервал появления трещин определяется значительно точнее по сравнению с традиционными методами /I/. Количество ложных отсчетов, выходящих за зону расположения трещины, находится в пределах от 0 до I3 % (в среднем 7,5 %) от числа отсчетов находящихся в этой зоне. Ложные отсчеты появляются, в основном, в случаях одновременного развития нескольких центров зарождения трещины или на стадии ее нестабильного роста.

Исследования показали высокую эффективность АЭ метода для изучения замедленного разрушения в технологических пробах.

Литература:

I. Мусияченко В.Ф. и др. Исследование условий образования и развития холодных трещин в сварном соединении высокопрочной стали методом АЭ.- Автоматическая сварка, I98I, №7, с.5-7.

2. Шоршоров М.Х. и др. Испытания металлов на свариваемость.- М.: Металлургия, I972. - 240 с.

3. А.С. 9I3243 (СССР). Способ создания источника сигналов АЭ / Авт. изобрет. Б.К.Гавриленко. - Заявл. 02.04.80; М. Кл.^{3} G 0I N 29/04 /.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗ СРЕДНЕЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 20Х2Н4А ПРИ РАЗВИТИИ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

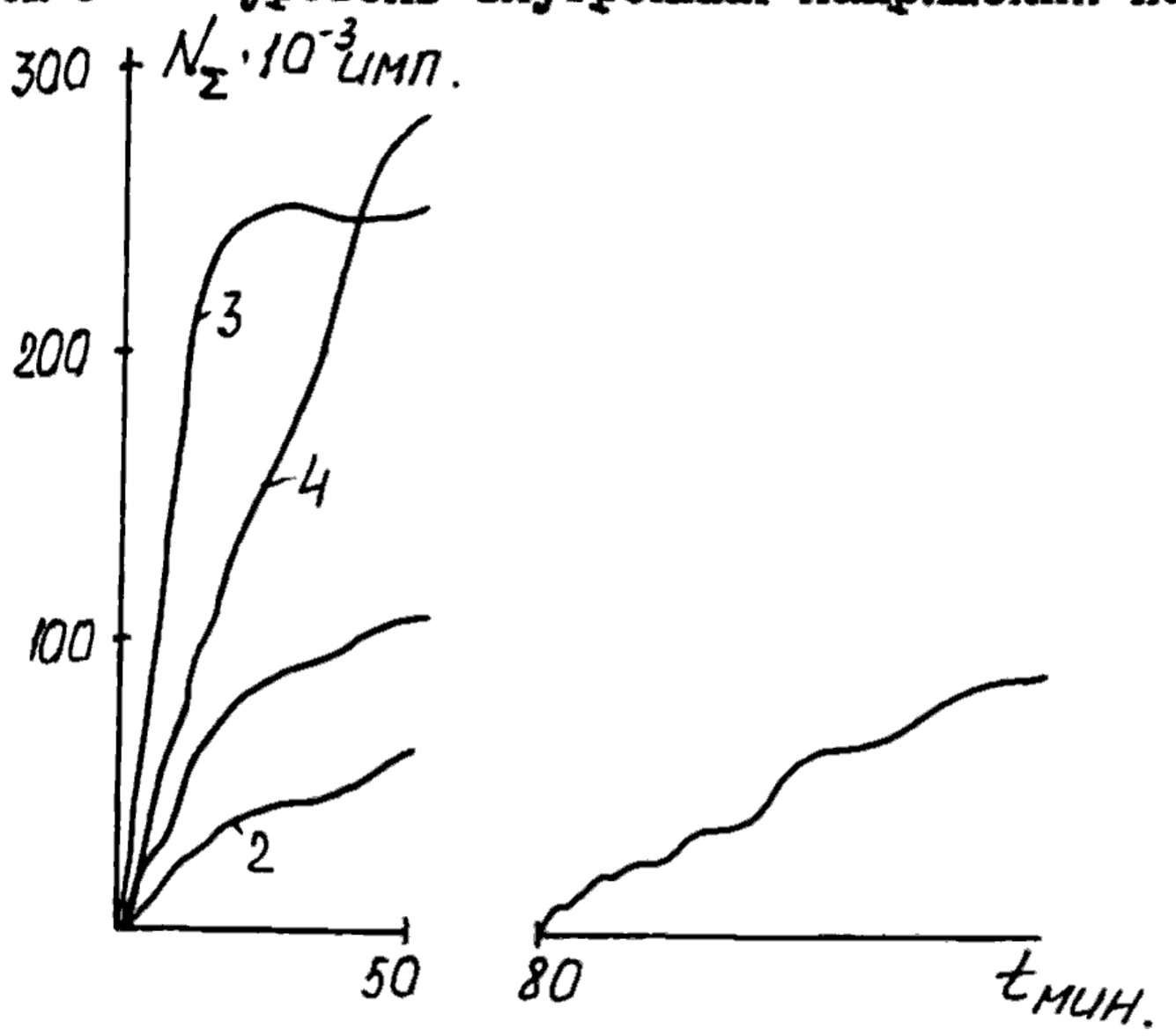
Н.Г.Ефименко, В.Н.Катанчик, И.П.Дорошенко

В настоящей работе приводятся результаты исследований сигналов АЭ в процессе остывания сварных соединений среднелегированной стали 20Х2Н4А в момент образования и развития холодных трещин. Тип сварного соединения выбирался из условия максимальной жесткости сварной конструкции. Для этих целей на пластину из стали 20Х2Н4А диаметром 300 мм и толщиной 45 мм по центру приваривался круговой сплошной цилиндр из этого же материала в термообработанном состоянии. Сварка осуществлялась как однослойная, так и многослойная (до 7 слоев). Таким образом изменялась жесткость кругового сварного соединения. Сварка производилась на полуавтомате в среде CO_2 проволокой Св-08Х20НЭГ7Т диаметром I.2 мм и различными по прочностным характеристикам электродами, что позволяло получать качественные швы и швы с интенсивно развивающимися холодными трещинами. С целью сопоставления результатов был использован эффект трещинообразования в заваренных чугунных образцах. Регистрацию сигналов АЭ производили сразу после сварки образцов.

Характер изменения числа импульсов АЭ при образовании и развитии холодных трещин в процессе остывания сварных швов представлен на рисунке. Эффект трещинообразования в заваренных чугунных образцах отображает кривая I. Она характеризует излучение сигналов в течение первых I5 минут наблюдения. При этом регистрировались в основном сигналы большой амплитуды. В дальнейшем интенсивность довольно резко уменьшалась и наблюдались лишь отдельные всплески одиночных импульсов.

Результаты исследований сигналов АЭ при остывании кольцевых швов представлены кривыми 2-4. Для качественных швов уровень сигналов АЭ был невелик, а количество сигналов, превышающих средний уровень сигналов АЭ от трещинообразования в чугунных образцах, незначительное (кривая 2). Иной вид представляют собой зависимости N_t при остывании кольцевых швов с дефектами. В этом случае количество импульсов с большей амплитудой увеличивается. Однако в случае однослойного шва (кривая 3), характеризующегося меньшей жесткостью, значительное нарастание импульсов, происходит в первые

I5-20 мин. В дальнейшем сигналы АЭ затухают. В случае же многослойных швов с большой жесткостью сварной конструкции сигналы АЭ наблюдались в течение 4-5 часов, (кривая 4) хотя основное число импульсов выделяется в течение первого часа. Характерной особенностью является спокойный характер выделения сигналов АЭ в сильно напряженном сварном шве на заключительной (после I часа) стадии остывания. Очевидно это объясняется тем, что на первом этапе в результате формирования и охлаждения сварного шва возникают большие внутренние напряжения, которые вызывают появление и развитие большого числа трещин, создающих почти непрерывный фон сигналов АЭ. На втором этапе уровень внутренних напряжений понижается и в этом



случае могут развиваться лишь трещины больших размеров, которые имеют большой коэффициент интенсивности напряжений. Таких трещин не много. Кроме этого развитие трещин происходит скачкообразно, так как необходимо время на подавление пластических деформаций в вершинах трещин. Этим объясняется неравномерный характер изменения N_Σ на заключительной стадии развития холодных трещин.

Металлографические исследования позволили установить связь максимальной интенсивности сигналов АЭ с образованием в околошовной зоне закалочных структур с высокой твердостью.

Полученные результаты позволили разработать методику АЭ контроля сварных соединений из высокопрочных сталей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭ В ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР

А.П.Аммосов, А.М.Жирков, В.П.Ларионов

Широкое использование метода акустической эмиссии для установления предразрушающихся состояний сварных конструкций, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера, а также контроля технологических процессов сварки в условиях естественного холода сдерживаются следующими обстоятельствами:

- отсутствуют специальные приборы для регистрации параметров АЭ в материале конструкций, эксплуатируемых в широком диапазоне естественных температур;

- недостаточно изучены основные факторы, вызывающие предотказовую ситуацию сварных элементов конструкций, изготовленных и эксплуатируемых в условиях низких температур.

В целях расширения использования акустико-эмиссионного метода диагностики сварных металлоконструкций, изучения накопления повреждаемости и конструкционной прочности сварных соединений в широком температурном диапазоне нами сделано следующее:

- на первом этапе работы создан прибор для измерения амплитуды АЭ в процессе низкотемпературных (до $-60^{o}C$) испытаний образцов или элементов конструкций;

- на базе данного прибора нами разработан многофункциональный анализатор акустической эмиссии (ААЭ) "Север", имеющий термостабилизированный выносной предусилитель с рабочим диапазоном температур ($+35^{o}C \div -60^{o}C$), со следующими техническими характеристиками:

Диапазон измеряемых амплитуд, по входу, МКВ, 20÷2000
Диапазон измеряемых интенсивностей, имп/сек, $I0 \div I0^{5}$
Объем суммарной эмиссии, имп, $0 \div I0^{8}$
Диапазон рабочих температур, ^{o}C, $-60 \div +35$
Диапазон рабочих частот, кГц, 40÷I000.
Регулировка уровня дискриминации ступенчатая от 25 до 500 МКВ;

- изучено возникновение сигналов АЭ в различных зонах сварного шва сталей 09Г2С, 09Г2Д, I4Х2ГМР и I0ХСНД в диапазоне температур $+20^{o}C \div -60^{o}C$ при деформировании и разрушении образцов;

- определены моменты и интервалы времени появления значи-

тельного уровня сигнала АЭ до полного разрушения для малоразмерных образцов (от I5 до 25 сек при температуре испытания -60°С) и связь уровня сигнала АЭ со значениями коэффициента интенсивности напряжений в вершине развивающейся трещины в зонах сварных соединений;

- установлены надежность работы ААЭ "Север" и возможность выявления технологического дефекта типа непровара в сварных соединениях изученных сталей в процессе развития дефекта.

Полученные результаты дают основания надеяться на эффективное использование акустико-эмиссионного метода диагностики сварных соединений в условиях Крайнего Севера.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕРМОНАГРУЖЕНИЕМ

М.А.Карамышев, А.В.Краснов

АЭ метод контроля находит применение при комплексной оценке качества и надежности ответственных сварных конструкций. Однако более полная реализация возможностей метода сдерживается отсутствием достаточно технологичных способов создания напряженно-деформированного состояния объекта при контроле. Поэтому изыскания и разработка новых способов нагружения при АЭ контроле является актуальной задачей и представляет большой практический интерес.

Разработан способ локального терморадиационного нагружения (ТРН), который позволяет создать за счет градиента температуры в контролируемом объеме материала напряжения достаточные для возникновения АЭ при наличии дефектов - концентраторов напряжения [I]. Необходимый градиент температуры обеспечивается за счет радиационного нагрева инфракрасными излучателями. Это позволяет достичь значительных скоростей нагрева при высокой точности воспроизведения режимов нагружения и создает предпосылки для автоматизации процесса контроля. Способ ТРН обладает рядом преимуществ, к которым относятся его бесконтактность, отсутствие каких-либо помех от средств нагружения и возможность точного определения местонахождения дефекта.

Исследование АЭ контроля с применением ТРН проведено на образцах сварных соединений жаропрочных сплавов толщиной 2 мм, выполненных ручной аргонодуговой сваркой и имеющих различные технологические дефекты. Термонагружение осуществлялось отражательной системой, в которой применялись лампы накаливания типа КГМ, а фокусировка лучистого потока обеспечивалась моноэллипсоидным отражателем [2]. Прием, усиление и обработка сигналов АЭ производилась установкой 4ИРДС-2, которая позволяет регистрировать суммарный счет АЭ (N) и скорость счета АЭ ($\dot{N}$). Параметры АЭ регистрировались одновременно с нагружением объекта. Контроль протяженных сварных соединений выполнялся последовательным перемещением нагревателя вдоль шва.

Чувствительность АЭ контроля при ТРН к различным дефектам сварных соединений оценивалась по сравнению со стандартными методами контроля (радиографическим, капиллярным и визуально-оптичес-

ким).

Установлено, что АЭ контроль качества сварных соединений при ТРН по чувствительности не уступает радиографическому, а в ряде случаев превосходит его.

Для оценки влияния ТРН на контролируемый объект определялись остаточные напряжения и механические свойства материала и сварных соединений. Показано, что каких-либо изменений свойств при АЭ контроле с использованием ТРН не происходит.

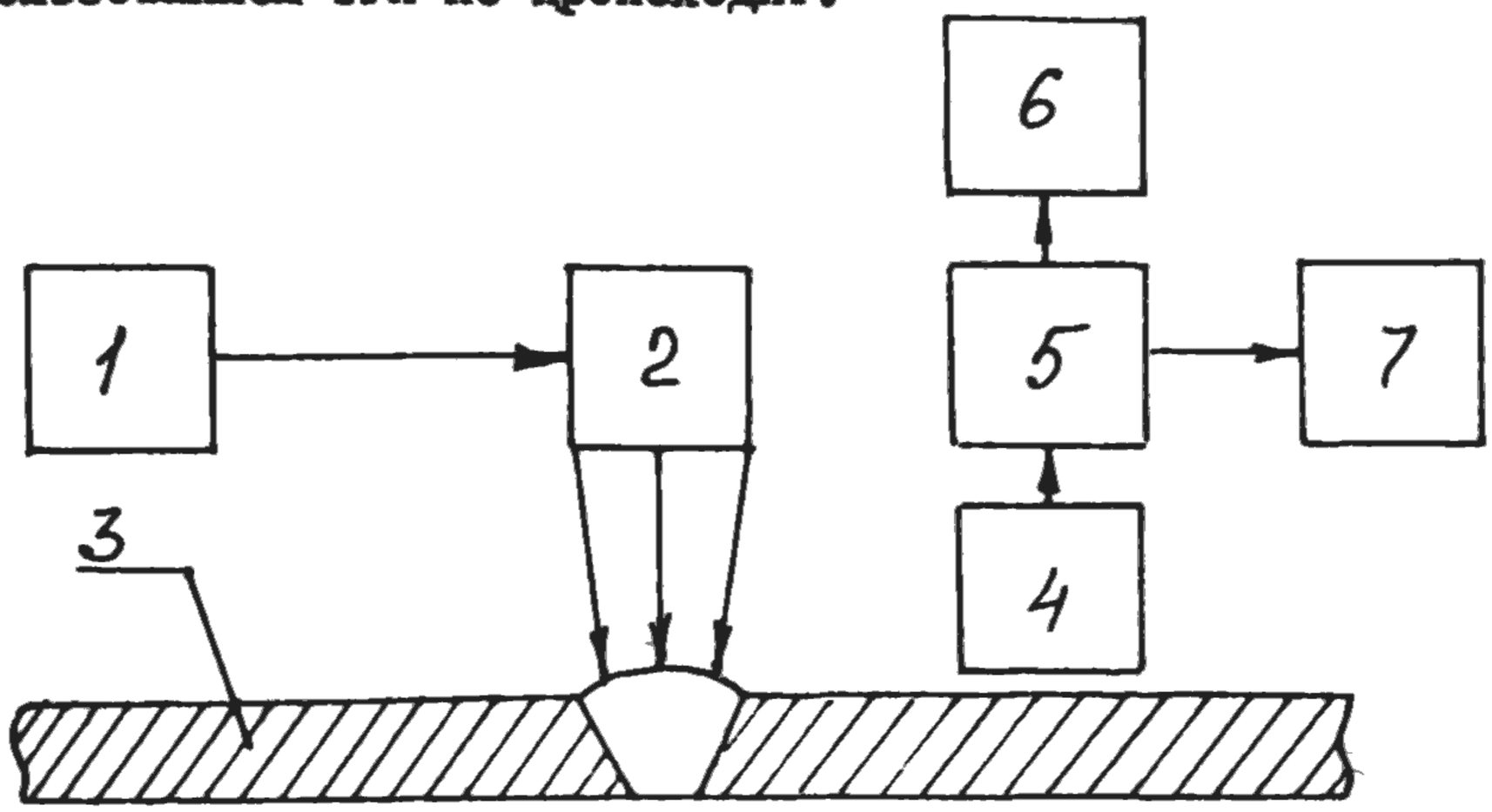


Схема установки для АЭ контроля сварных соединений с применением терморадиационного нагружения
I - источник питания нагревателя, 2 - нагреватель, 3 - образец, 4 - датчик, 5 - прибор 4ИРДС-2, 6 - счетчик импульсов, 7 - регистратор интенсивности.

Проведенные исследования показали, что применение ТРН при АЭ контроле позволяет реализовать максимальную чувствительность метода и обеспечивает возможность проведения локального контроля сварных соединений. Рациональной областью применения АЭ контроля с применением ТРН следует считать его использование при комплексном контроле ответственных сварных конструкций из конструкционных, нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов, выполненных дуговой сваркой в среде защитных газов.

Литература:

I. М.А.Карамышев, В.Р.Хайретдинов. Способ контроля качества сварных соединений. Авт.свид. № 705330. - Бюлл.изобр.,1979, № 47, с.137.
2. Д.Е.Зварыкин, Д.П.Прохоров. Применение лучистого инфракрасного нагрева в электронной промышленности - М., Энергия, 1980.

ПРИЕМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ЦИКЛИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ В РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Махутов Н.А., Однопозов Л.Ю., Каган В.А.

Эксплуатационная прочность разъемного резьбового соединения зависит от исходной дефектности на стадиях изготовления и монтажа, повреждений, накопленных в процессе эксплуатации и ремонта. В конструкциях сосудов высокого давления, судовых механизмах, летательных аппаратах используются резьбовые соединения в широком диапазоне размеров исполнения (до 300 мм) от эксплуатационной прочности и долговечности которых зависит надежность всей конструкции в целом. Для изготовления элементов крепежа используются стали и сплавы с пределом прочности от 400 до 2200 МПа, относительным служением от 23 до 77%.

В докладе представлены вопросы технической диагностики текущего состояния высоконагруженных резьбовых соединений с применением различных методов и средств неразрушающего контроля (НК), в том числе и акустоэмиссионной (АЭ).

Вопрос применения метода НК тесно связан с конструктивными формами и размерами элементов, расположением зон развития процессов разрушения, для условий малоциклового нагружения в которых характерно наличие развитых упруго-пластических деформаций. Применение средств дефектоскопии резьбовых соединений в процессе эксплуатации усложняется тем, что доступ к местам наибольшей напряженности - сопряженным виткам резьбы скрыт охватывающей деталью, а обычно применяемые методы НК усталостного повреждения (визуально-оптический, магнитный, цветной, вихревых токов) требуют непосредственного доступа к зоне развития разрушения. при демонтаже соединения, что приводит к усложнению проведения контроля и дискретности снимаемой информации. Средства УЗ дефектоскопии позволяют проводить исследования и диагностики текущего состояния в сопряжении без демонтажа только достаточно крупных соединений, но из-за отражения сигналов от резьбовых поверхностей получение стабильных результатов измерения обеспечивается с размеров трещин,близких к критическим, т.е. на стадиях предразрушения.

На основе модульного принципа формирования аппаратурных средств создан комплект для исследования процессов циклического

разрушения в резьбовых соединениях с применением метода АЭ, обеспечивший возможность непрерывного слежения за процессом разрушения. Структурная схема аппаратурного комплекса состоит из: приемного преобразователя АЭ, предварительного усилителя, полосового фильтра, регулируемого усилителя, пороговой схемы, схемы стробирования, интенсиметра, самописца (Н339), счетчика импульсов, запоминающего устройства, устройства визуального отображения с ЭЛТ, цифроаналогового преобразователя, самописца (Н338), осциллографа (С-I-64), схемы выделения огибающей сигнала АЭ, устройства записи на магнитную ленту (магнитофон "Ростов-I02").

Экспериментальные исследования проведены на шпилечных соединениях из широкоприменяемых для изготовления крепежа сталей 40Х, 25ХIМФ, 38ХН3МФА.

Скорость роста трещин вглубь поперечного сечения шпильки определялась из зависимостей (I-2)

$$dh/dN = dA/dNC_1, \qquad (I)$$

$$dA/dN = C_2 \Delta K^n f(R), \qquad (2)$$

связывающих её с числом накопленных сигналов АЭ (I) и размахом коэффициента интенсивности напряжений ΔK (2) с учетом функции влияния асимметрии цикла нагрузки $f(R)$. Определение достоверных значений постоянных C_I, C_2 и n требует постановки систематических исследований для каждого конструктивного исполнения исследуемого резьбового соединения.

Полученные данные позволили оценить длительность протекания отдельных этапов деформирования и разрушения, локализовать момент зарождения макротрещины и начало стадии нестабильного роста больших трещин, однако удовлетворительно оценить кинетику роста трещин на стадии ее стабильного роста полностью не удалось. Неоднородность распределения усилий, напряженно-деформированного состояния по длине резьбового сопряжения на основе использования кинетических диаграмм усталостного разрушения приводит к возможности выработки рекомендаций на величину допустимого размера дефекта (трещины) в зависимости от его местоположения по длине. Определение местоположения источника сигнала АЭ потребует установки в различных местах сопрягаемых резьбовых элементов не менее трех ПП и обработки сигналов АЭ с привлечением ЭВМ.

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВНЕШНЕМ ТРЕНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

САРЫЧЕВ Г.А., ЩАВЕЛИН В.М.

Исследование акустического излучения (АИ) проводилось на установке, работающей по схеме диск-неподвижный палец. Образцы изготавливались из стали 45, латуней ЛС 62, ЛС 59. Эксперименты проводились при трении без смазок, с жидкими смазками и ТСП на основе молибденита. Сигналы АИ регистрировали с помощью специально изготовленного датчика АИ, прижимаемого к торцу неподвижного образца. При разработке датчика принимались меры для улучшения помехозащищенности от внешних помех, в том числе и от помех, присущих только фрикционным испытаниям. Дальнейшая обработка сигнала происходила с помощью разработанной авторами аппаратуры по методике, подобной обработке акустико-эмиссионного сигнала.

В качестве информативных параметров были выбраны скорость счета (число продетектированных импульсов АИ в единицу времени), первые четыре статистические начальные и центральные моменты амплитудного распределения, амплитудно-частотный спектр, параметр, пропорциональный мощности сигналов АИ с выхода датчика (в дальнейшем-мощность АИ).

В процессе приработки пары трения параметры АИ стремятся к стационарному состоянию. При этом средняя амплитуда регистрируемых импульсов, дисперсия амплитуд импульсов, мощность уменьшаются. Скорость счета может как уменьшаться, так и возрастать. С приближением к стационарному состоянию пары трения в амплитудном спектре практически исчезают импульсы с большими амплитудами. Уменьшение энергетических параметров АИ и стабилизация их, видимо, отражает стремление системы трущиеся тела - окружающая среда к стационарному состоянию с минимальной диссипацией энергии (об этом говорит и уменьшение коэффициента трения) и образованию в поверхностных слоях трущихся тел равновесных структур.

Если процесс приработки сопровождается плавным изменением параметров АИ, то при появлении разрушения смазочного слоя или антифрикционного покрытия происходит резкое изменение параметров АИ. При разрушении слоя покрытия на основе молибденита на стальном диске при трении стального полусферического пальца резко увеличивается скорость счета, в амплитудном спектре появляются имп-

льсы с амплитудами, превышающими в десятки раз максимальную амплитуду импульсов АИ при трении в стационарном состоянии. Частотный спектр при этом расширяется. Трение с элементами схватывания сопровождается ярко выраженным дискретным АИ с амплитудами импульсов, превышающих амплитуду импульсов при трении без схватывания в несколько раз. Импульсы АИ при трении без смазки или антифрикционного покрытия имеют амплитуду в несколько раз (до 2-х порядков) превышающую амплитуду импульсов АИ при трении этих же материалов со смазкой при одинаковых внешних факторах. Дисперсия амплитуд импульсов АИ при "сухом" трении больше, чем при трении со смазкой.

Исследовалось также влияние скорости скольжения и нагрузки на параметры трения. Зависимость скорости счета АИ от нагрузки можно апроксимировать степенной функцией с показателем степени меньше единицы. Характер зависимости скорости счета АИ от скорости скольжения также степенной, но показатель степени больше или равен I. Заметим, что характеристики аппаратуры оказывают существенное влияние на эти зависимости. С увеличением скорости скольжения или нагрузки средняя амплитуда импульсов АИ увеличивается почти линейно. Частотный спектр с увеличением скорости скольжения расширяется, с увеличением нагрузки в исследованных диапазонах (2 ...I0 МПа) почти не меняется.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что регистрация и анализ АИ при трении может явиться хорошим инструментом для целей исследования кинетики процессов в стадии их протекания, а также для целей контроля и диагностики узлов трения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ЗОНЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ И ИХ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ СВАРКИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Ю.С.Весселянский, И.С.Гузь, В.Я.Воронько

Отказы в работе низковольтной аппаратуры во многих случаях обусловлены разрушением контактного узла по месту точечной сварки в связи с отклонением от оптимального режима и вследствие этого возникновением в зоне сварки различных дефектов (непровары , трещины и др.). Поскольку основные стадии процесса сварки (предварительное сжатие свариваемых элементов, их сварочный нагрев под давлением и последующая проковка) связаны с протеканием пластической деформации, различные проявления которой являются источником акустической эмиссии (АЭ), для контроля процесса сварки в твердом состоянии контактных узлов применен метод АЭ.

Объектами исследования были контактные узлы, состоящие из металлокерамического серебряно-никелевого контакта СН-30 и контактодержателя из латуни Л63. Указанные элементы сваривали на машине контактной сварки МТПУ-300 с одновременной регистрацией АЭ при помощи специально разработанного комплекса аппаратуры.

Переходные зоны точечной сварки исследуемых контактных узлов сваренных по различным режимам, подвергались металлографичеокому анализу и последующему измерению микротвердости по линии, нормальной границе раздела между контактом и контактодержателем.

На основании результатов металлографического анализа зон точечной сварки и их классификации по видам дефектов и нормальных структур получена зависимость величин АЭ процесса сварки от структурных характеристик этих зон. Установленная зависимость выявила преимущественное влияние сварочного нагрева на формирование структуры зоны точечной сварки и позволила по величине АЭ, соответствующей периоду сварочного нагрева, разграничить дефектные и бездефектные зоны исследуемых контактных узлов.

Анализ характера кривых распределения микротвердости зон точечной сварки в связи с данными АЭ выявил корреляцию между максимальными значениями микротвердости переходной зоны и величинами АЭ соответствующими предварительному сжатию свариваемых элементов. В результате рекомендовано ограничение усилий предварительного сжатия, поскольку участок зоны сварки с высокими значениями максимальной твердости является потенциальным источником зарождения разрушения. Совокупность полученных данных указывает на возможность оптимальной корректировки режима контактной сварки методом АЭ.

РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРОСВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. СЕРИЙНЫЙ ПРИБОР КОНТРОЛЯ КМС-М207

Г.И. Мамин, Е.Ф. Лукьянов, М.Б. Милешкин, Е.И. Музыка,
В.М. Налетов, А.П. Савченко

Производство современной малогабаритной коммутационной техники сопровождается ростом удельного веса микросварки по отношению к другим способам получения конструкционных неразъемных соединений и повышением требований к их эксплуатационным характеристикам.

Качество конструкционных сварных соединений в основном определяется их прочностью. По современным представлениям единственным путем ее обеспечения является оптимизация термодеформационного цикла сварки за счет выбора конструктивных и технологических характеристик компонентов соединения и воспроизводимости параметров процесса сварки.

Оценка качества микросварных соединений, выполненных контактной и рельефной сварками, уже существующими методами контроля полностью не удовлетворяет техническим требованиям в силу малой разрешающей способности методов или их недостаточной информативности.

Разрушающие выборочные испытания также не дают необходимой достоверности контроля, в то же время снижая эффективность производства из-за материальных и трудовых потерь.

Наиболее универсальным из всех известных сопутствующих микросварке процессов является излучение сигналов АЭ, вызываемое протеканием упруго-пластической деформации, фазовых превращений и микроразрушений в зоне соединения.

В этой связи были исследованы процессы контактной и рельефной сварок деталей малогабаритных реле в аспекте установления зависимостей между параметрами АЭ и последующими прочностными характеристиками соединений. Регистрировались различные параметры АЭ (суммарная АЭ, скорость счета, энергия и уровень сигналов АЭ) на различных временных интервалах после прохождения сварочного тока.

Полученные результаты были использованы при разработке опытного образца комплекса контроля качества микросварных соединений (КМС - 207). В основу прибора положен принцип регистрации суммарной АЭ на определенном временном интервале (20-40 мс) после прохождения сварочного тока, что позволило получить коэффициент корреляции с прочностью на отрыв сваренных деталей не менее 0,8.

Введение I00 %-го неразрушающего контроля позволило увеличить процент выхода годных изделий и значительно снизить риск поставщика и потребителя. Годовой экономический эффект составил I00 тыс. руб.

В условиях совершенствования неавтоматизированного сварочного оборудования и комплексной автоматизации сварочного производства возникла необходимость в разработке, создании и внедрении качественно новых средств контроля сварочного процесса, которые могли бы решать следующие задачи:

- функционировать совместно с многоэлектродным сварочным оборудованием без дополнительного приборного оснащения;
- вести классификацию деталей по видам брака без остановок оборудования при случайном браке;
- работать как автономно, так и в контуре АСУТП совместно с ЭВМ.

Для выполнения этих задач авторами разработан новый серийный прибор неразрушающего контроля КМС-М207, способный работать в составе автоматизированного многоэлектродного сварочного оборудования. Прибор способен дифференцировать брак на „случайны", связанный с флуктуирующими параметрами сварочного процесса и качеством поверхностного слоя деталей, и „систематический", вызванный неисправностью сварочного оборудования или нарушением технологического процесса.

Прибор имеет выносное устройство индикации для оператора, обслуживающего оборудование. Предусмотрено также подключение к контуру АСУТП, обеспечиваемое наличием встроенного интерфейса ОШ.

Серийное производство приборов КМС-М207 будет начато в октябре I984 года.

Экономический эффект от внедрения одного прибора контроля зависит от конкретного типа деталей и ориентировочно составит 20 - 40 тыс.руб.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ЭЛЕКТРОКЕРАМИКИ

Пашук Е.Г., Атаев А.Ш., Бешенцев В.Д.,
Карпиловский Л.П., Мурлиева Ж.Х.,
Палчаев Д.К., Пашаев Б.П.

Изделия из электрокерамики, эксплуатируемые в отчественных узлах энергетических установок, обычно контролируются ультразвуковой дефектоскопией, а также подвергаются 75% нагрузке от предельно возможной. Практика показала, что эти способы контроля не выявляют магистральной трещины (МТ), которая в конечном счете приводит к разрушению. В отличие от вышеназванных способов, акустическая эмиссия (АЭ) обязана своим появлением росту МТ.

С целью выявления возможности применения АЭ к традиционным методам испытания нами предварительно изучена связь между скоростью трещины υ и параметрами АЭ: активностью ($\dot{N}_A$) и интенсивностью ($\dot{N}$) на установке, реализующей метод двойного скручивания (ДС) при постоянной нагрузке[I]. Приращение трещины при заданной нагрузке определялось фотоэлектрическим датчиком с чувствительностью 10^{-7} м и максимальным значением перемещения 10^{-3} м. Такие параметры датчика позволяют измерять υ в диапазоне $10^{-8} \div 10^{-2}$ м/с. Датчик АЭ крепился к исследуемому образцу. Сигналы АЭ регистрировались прибором, описанным в[I]. Использовались датчики (резонансная частота 150÷300 кГц) с чувствительностью $\simeq 0{,}6$В/Å. Для подавления ложных срабатываний при регистрации актов эмиссии использован триггер с перезапуском. Метод ДС при постоянной нагрузке исключал возникновение АЭ от поверхностного микрорастрескивания образца с МТ. На рис.1 приведены зависимости, связывающие υ с $\dot{N}^P$ и $\dot{N}_A^P$, для четырех образцов (обозначены разными знаками)УФ-46 со сквозными трещинами. Аналогичные зависимости получены и для керамик других марок. Результаты свидетельствуют о наличии однозначной корреляции между υ и $\dot{N}_A^P$, $\dot{N}^P$, что позволяет использовать параметры АЭ, регистрируемые при контрольных нагружениях, для прогнозирования срока службы по известным формулам[2]. Однако использование корреляции υ с $\dot{N}_A^P$ и $\dot{N}^P$ для контроля изделий из керамики осложнено наличием АЭ от поверхностного микрорастрескивания при механическом нагружении изделия[2]. Наши эксперименты показали, что АЭ от микрорастрескивания $\dot{N}_A^P$ особенно велика в керамике, содержащей две кристаллические фазы, и может на несколько порядков превышать $\dot{N}_A^P$. Эффективным способом их разделения оказа-

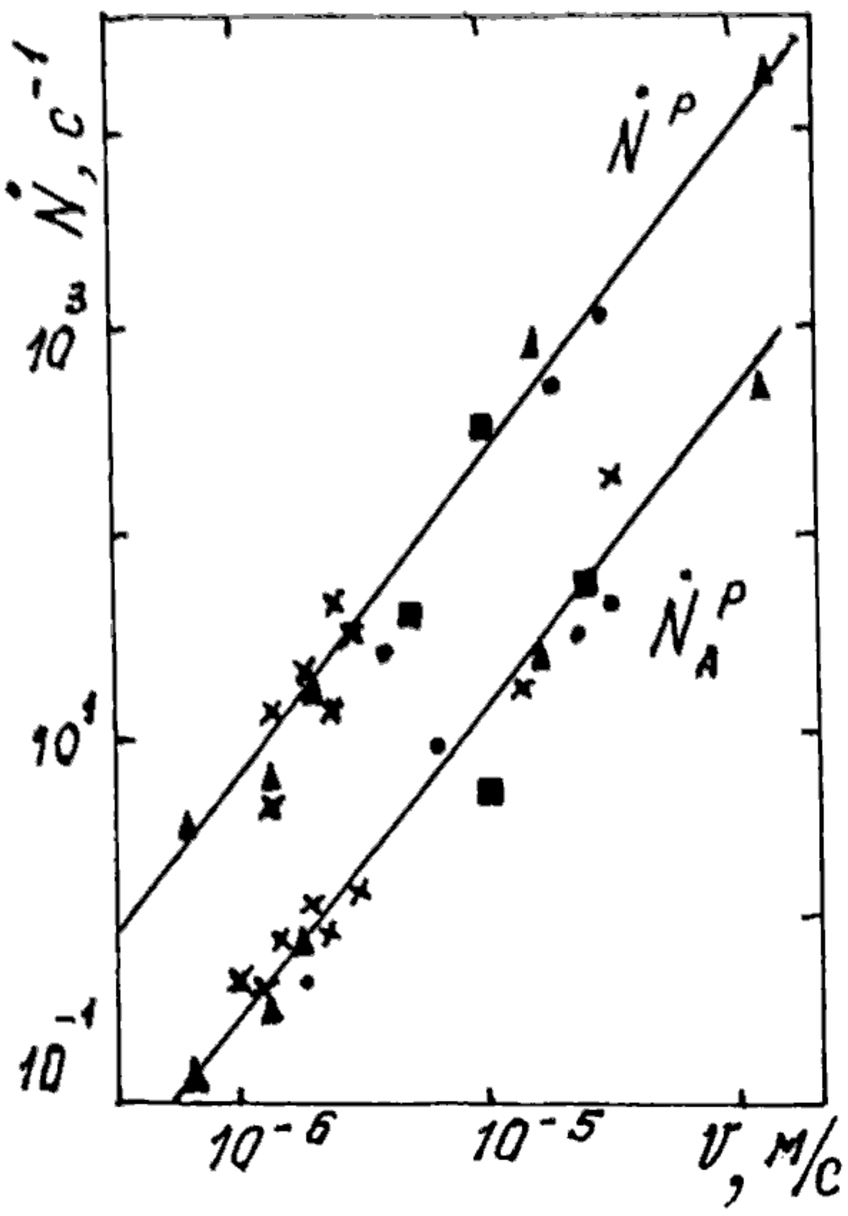


Рис. I.

лось сравнение временных зависимостей активности АЭ $\dot{N}_A(\tau)$ при выдержке под постоянным механическим напряжением $\sigma = const$. Оказалось, что в этом режиме $\dot{N}_A^R(\tau)$ экспоненциально уменьшается, как показано на рис. 2.

Если в изделии при данной нагрузке развивается МТ, то в определенное время, когда $\dot{N}_A^P$ будет соизмерима с $\dot{N}_A^R$, экспоненциальный спад активности нарушится. Величина этого отклонения связана с развитием МТ, скорость которой может быть оценена по известной корреляции v с $\dot{N}_A^P$. Такой способ позволяет выявлять МТ, развивающиеся со скоростью 10^{-7} м/с. Модель АЭ в керамике, предложенная в работе [3], открывает возможность экспериментального определения важнейших параметров разрушения - показатели степени (n) зависимостей v от K_I и $\dot{N}_A^P$ от K_I и постоянную Вейбулла (m). Для этого достаточно измерить зависимость $lg\,\dot{N}_A^R = f(lg\tau)$ при двух различных нагрузках, как показано на рис.2. Тогда $n = tg\varphi/(1+tg\theta)$, $m = (n-2)tg\varphi/n$. Здесь $tg\,\varphi$, $tg\,\theta$ — тангенсы угла наклона зависимостей $lg\,\dot{N}_A^R = f(lg\tau)$; $\sigma = const$ и $lg\,\dot{N}_A^R = f(lg\,\sigma)$, $\tau = const$. Найденные таким образом значения $\overline{m} = 2{,}7 \pm 0{,}3$ и $\overline{n} = 11 \pm 4$ для керамики М-6 хорошо согласуются с n, полученными из $v - K_I$ зависимости, и m, приведенными в работе [2]. Значения m и n слабо зависят от уровня дискриминации.

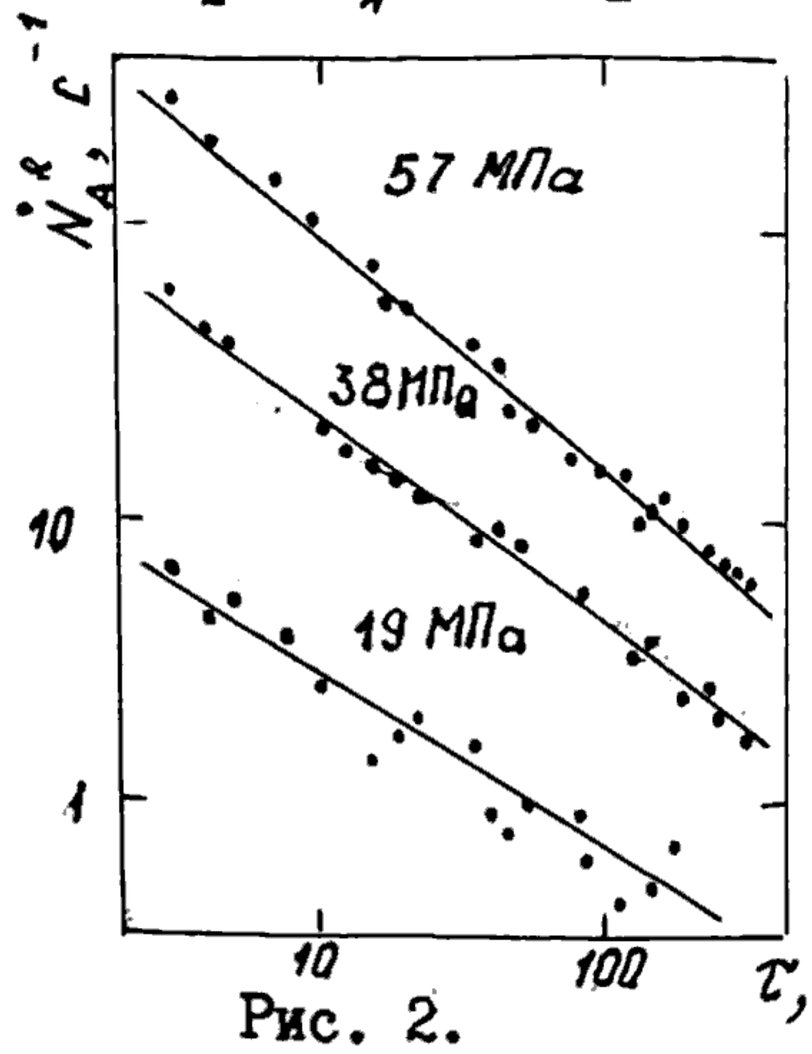


Рис. 2.

Литература

I. Д.К.Палчаев, Е.Г.Пашук и др. "Устойчивость хрупких материалов к медленному росту трещин".- Стекло и керамика, № 6, I983, с.27-29.

2. А.Г.Эванс, Т.Г.Ленгдон "Конструктивная керамика", - М.:Металлургия, I980, 256 с.

3. A.G. Evans. „Residual Stress Measurement Using Acoustic Emission." - J. Amer. Ceram. Soc. 1975, V. 58, N 5-6, p. 239-243

МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ УСТАЛОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Ю.Г.Безымянный, В.А.Кузьменко, А.Д.Шевчук

Исследование процесса усталости конструкционных материалов при высокочастотном (более 300 Гц) деформировании является актуальным вопросом во многих областях современной науки и техники [I]. При этом одним из самых существенных аспектов выступает текущий контроль за состоянием материала в процессе воздействия на него внешних нагрузок.

Успешное применение метода акустической эмиссии (АЭ) для изучения кинетики разрушения и ранней диагностики усталостных повреждений при низкочастотном нагружении [2] дало основание провести анализ возможностей этого метода при аналогичных исследованиях в условиях более высоких частот нагружения.

В соответствии с методикой [3] проводились исследования процесса усталости трех марок конструкционных керамических материалов, изготовленных на основе карбид-нитрид кремния (керамика I) и двух различных составов окиси алюминия (керамика 2 и керамика 3), при симметричных циклах высокочастотного изгиба. Испытания велись на электродинамическом вибростенде с частотой нагружения 2 кГц и магнитострикционной установке с частотой 8 кГц на второй форме резонансных поперечных колебаний плоского консольно закрепленного образца. В процессе испытаний регистрировались сигналы АЭ. Используемая аппаратура позволяла производить частотную селекцию принимаемого сигнала в пределах полосы 0,02 ÷ 2,0 МГц.

По результатам испытаний построены кривые усталости на базе $N = 10^8$ циклов нагружения, приведенные на рис.I для частоты 2 кГц сплошными линиями и для частоты 8 кГц пунктирными линиями, где кривые I, 2, 3 соответствуют номерам керамик; σ_a - амплитуда циклических напряжений в опасном сечении образца.

Высокочастотное циклическое нагружение - это резонансный режим механических колебаний [I], у которых связь между вынуждающей силой и амплитудой колебаний не является чисто линейной [4]. Практически нелинейность проявляется в появлении на выходе пьезоприемника гармонического спектра собственных частот колебаний образца, уровень составляющих которого зависит от степени нелиней-

ности колебательной системы, частоты и уровня амплитуды нагружения. Величина сигналов АЭ зависит от стадии поврежденности образца - чем ближе к разрушению, тем интенсивнее сигнал. Огибающая спектра собственных частот колебаний образца (А) и спектральная плотность сигналов АЭ (G) представлены на рис. 2.

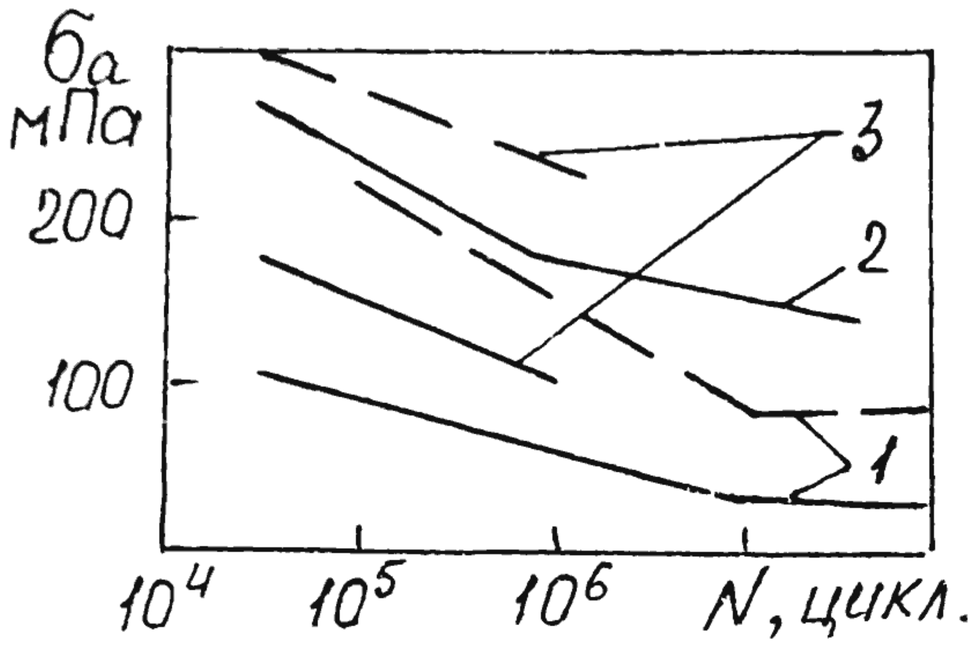


Рис. I

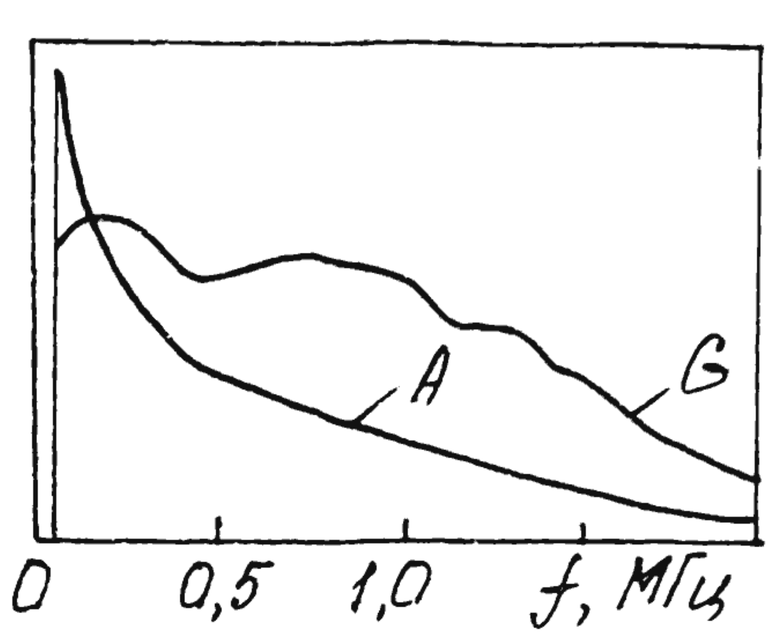


Рис. 2

Исследования показали, что при частоте нагружения 8 кГц для всех трех марок керамики уровень сигналов АЭ меньше уровня собственных колебаний. При частоте нагружения 2 кГц для керамики - 2 надежно фиксировались сигналы АЭ лишь при разрушении образца. Только у отдельных образцов, разрушившихся при амплитудах циклических нагрузок менее 200 МПа, удалось зарегистрировать нарастание амплитуды сигналов АЭ незадолго до разрушения образца. Для керамики - I в диапазоне частот 0,I÷ 2,0 МГц надежно фиксировались как одиночные сигналы АЭ на ранних стадиях задолго до разрушения образца, так и нарастающие сигналы непосредственно перед разрушением. Для керамики - 3 получен средний результат между керамикой - I и керамикой - 2.

Литература

I. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения. Под ред. В.А.Кузьменко. - Киев: Наукова думка, I979. - 336 с.
2. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник. Под ред. Г.С.Самойловича. - М.: Машиностроение, I976.- 456 с.
3. Безымянный Ю.Г., Гришаков С.В., Дробинский В.С., Шевчук А.Д. Исследование процесса высокочастотной усталости конструкционной керамики методом АЭ. В кн.: Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения: Докл. Ш Всесоюзного семинара. Киев: Наукова думка, I983,с.76-79.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний. - М.: Наука, I968.- 560 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

В.С.Фетисов, Б.В.Ващенков, И.В.Гулевский
В.А.Локшин

В данной работе представлены результаты исследования методом акустической эмиссии (АЭ) процесса разрушения волокнистого теплоизоляционного материала (ТИМ) с пористостью свыше 80%, обладающего трансверсальной изотропией физико-механических характеристик (ФМХ). Сведения об использовании метода АЭ применительно к материалам данного класса в литературе практически отсутствуют.

Параметры АЭ регистрировались с помощью акустико-эмиссионной аппаратуры, имеющей частотный диапазон 2-50 кГц и I00-300 кГц, что позволило сравнивать эмиссионные свойства материала в этих диапазонах частот.

Из результатов исследования влияния масштабного фактора на АЭ и ФМХ изучаемого материала следует, что увеличение площади поперечного сечения испытуемых образцов приводит к увеличению АЭ для обоих направлений анизотропии. При этом прочностные характеристики ТИМ практически не меняются. Дальнейшие эксперименты проводили в основном на кубических образцах размером 55x55x55 мм, для которых общее количество импульсов АЭ до разрушения при выбранных условиях эксперимента составляет несколько тысяч.

При растяжении ТИМ ведет себя как типичный хрупкий материал, у которого диаграмма нагрузка-деформация имеет линейный характер и разрушение наступает после упругого участка. Полученные при испытаниях образцов зависимости суммарной АЭ от нагрузки имеют монотонного возрастающий характер и удовлетворительно аппроксимируются показательной функцией. В исследуемом материале имеет место эффект Кайзера. Он наблюдается для обоих направлений анизотропии как при растяжении, так и при сжатии.

Проведенные исследования показали, что появление первых сигналов АЭ при нагружении ТИМ в более слабом направлении анизотропии отмечается раньше, чем при нагружении в более сильном. Показано также существование связи между напряжением появления сигналов АЭ и напряжением разрушения данного материала. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что метод АЭ может быть использован при разработке методик контроля качества заготовок ТИМ, а также при исследовании ФМХ материалов аналогичного типа.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Г.Б.Муравин, А.Ф.Щуров, Г.С.Павловская

Исследована природа излучения звука и гиперзвука в процессе твердения бетона. С этой целью разработана методика: а) позволяющая регистрировать маломощные сигналы из материала, работающего при температуре, близкой к I00°С; б) способная обеспечить регистрацию кратковременных импульсов в течение длительного промежутка времени ; в) предусматривающая возможность воссоздания формы сигналов.

Для идентификации событий образования кристаллической структуры и акустической эмиссии проведены фрактографические исследования и спектральный анализ.

Установлено, что бетон, твердеющий в естественных условиях, генерирует сигналы через I0-20 минут от приготовления смеси. Вначале излучаются отдельные импульсы с амплитудой, не превышающей 20-30 мкВ, затем интенсивность нарастает, достигая экстремальных значений к I-му часу от затворения портландцемента водой. Фрактографические исследования цементного раствора показали, что в отмеченный период происходило взаимодействие минералов клинкера на поверхности зерен цемента. Образование кристаллогидратов различных составов, минералогическая гетерогенность цементных зерен, а также дефекты, существующие на поверхности, приводили к периодическому отшелушиванию первичных кристаллитов в поровое пространство под действием напряжений сдвига. Здесь они образовывали элементы вторичной надмолекулярной структуры, блоки, из которых впоследствии возникал кристаллический сросток. Акустическая эмиссия при этом была связана с отрывом первичных кристаллитов в поровое пространство и изломом отдельных сростков в стесненных условиях. Обнаружены сигналы двух видов. Высокочастотные, исчезающие после образования первичной структуры, и низкочастотные, сопровождающие упрочнение ячеек.

Соединение отдельных центров кристаллизации, формирование единого кристаллического сростка сопровождалось излучением с низким уровнем энергии. Излучение в этот период было связано с изломом сростков в стесненных условиях, нарушением адгезионных связей между цементным камнем и заполнителем.

Завершение интенсивного этапа набора прочности совпадало с уменьшением скорости эмиссии. Поры заполнялись продуктами гидратации, уплотнялась структура и одновременно экранировалась поверхность

цементных зерен, замедляющая образование кристаллической структуры.

Спектральный состав излучения на стадии упрочнения структуры при стабилизации процесса соответствует твердеющему цементу. Это позволяет заключить, что акустическая эмиссия в данный период в основном обусловлена изломом сростков гидратных образований при дроблении ячеек кристаллической структуры бетона.

Показано, что при тепловлажностной обработке излучение отражает специфику образования кристаллической структуры и может быть использовано в качестве индентора качества формируемого материала. Приведены данные промышленных экспериментов по проверке технологических режимов изготовления железобетонных пролетных строений, мостов, плит перекрытий, метро, панелей методом акустической эмиссии.

ЭФФЕКТ КАЙЗЕРА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ БЕТОНА

В.В.Гурьев, К.Л.Ковлер, Г.Б.Муравин, А.Ф.Щуров

Известно, что акустическое излучение деформируемого бетона используется при неразрушающем контроле конструкций и сооружений. В частности, на основе данных эмиссии предприняты попытки оценить наличие необратимых дефектов, способность композитных материалов восстанавливать структурную целостность после нагружения, время релаксации внутренних напряжений, залечивание повреждений. В этой связи в качестве характеристики "памяти предыстории нагружения" используется эффект Кайзера, свойственный большинству технических материалов. В бетонных и железобетонных конструкциях он наблюдается не всегда, существуют данные о временном характере памяти предыстории [I].

Авторы исследовали явление исчезновения акустического излучения в бетоне при повторном нагружении с варьируемой периодичностью. В качестве независимых контрольных методик измерения структурно-механических характеристик материала, появления и развития дефектов использовались ультразвуковая дефектоскопия и тензометрия. Испытания проводились при нагрузках, соответствующих моментам схлопывания исходных микротрещин и пор, развития микро- и макротрещин.

Установлено, что во всех случаях акустическое излучение, обнаруженное при деформировании образцов, исчезает при их повторном загружении, пока действующие усилия не превысят первоначальную максимальную нагрузку. Подобное свойство бетон сохраняет вплоть до образования в нем системы макротрещин. В последнем случае при повторном нагружении развитие дефектов вызывает появление эмиссии с интенсивностью, составляющей 25–30 % от первичного уровня.

Кратковременный (двухдневный) отдых материала приводит к частичному (до 5 %) восстановлению интенсивности эмиссии при повторном деформировании образцов нагрузкой, не превышающей границу образования макротрещин. Более длительный (I4-дневный) отдых способствовал увеличению интенсивности до I0 %, в отдельных случаях до I2 % от первичного уровня. Повторное испытание трех образцов спустя год от момента нагружения выявило эмиссию с интенсивностью I5–20 % от первичной.

В исследованный период проведены и фрактографические наблюдения бетона с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-100. Они показали, что рост кристаллических сростков, дробление кристаллитов и упрочнение структуры проходят непрерывно. Обусловлено это наличием свободной воды в бетоне, необходимой для процесса гидролиза и гидратации цементного камня. В этой связи отмечено частичное залечивание трещин, образование крупных ячеек в зоне нарушения сплошности и, как следствие, восстановление акустической эмиссии. Выпаривание воды приводит к существенному замедлению процесса восстановления сплошности материала, исчезновению акустической эмиссии при повторном нагружении образцов.

Другой причиной восстановления структурной целостности бетона является частичное закрытие микро- и макротрещин при достаточно длительном времени отдыха материала. Об этом свидетельствует увеличение скорости ультразвука на 0,8-1,0 % после 14-дневного отдыха перед повторным нагружением.

Резюмируя выполненные исследования, можно утверждать, что эффект Кайзера в бетоне существует. Частичное восстановление акустической эмиссии при повторном деформировании материала обусловлено залечиванием дефектов вследствие непрерывного роста кристаллических сростков, а также трением берегов микро- и макротрещин в результате частичного их закрытия во время отдыха материала.

Литература:

1. Муравин Г.Б., Павловская Г.С., Лиходько А.Д. Акустическая эмиссия при деформировании бетона (обзор).- Дефектоскопия, 1982, № 12, с.3-13.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, УЛЬТРАЗВУКОВОГО И ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ БЕТОНА ПРИ СТУПЕНЧАТО-ЦИКЛИЧЕСКОМ ЗАГРУЖЕНИИ

К.Л.Ковлер

Для оценки кинетики микротрещинообразования бетона при осевом сжатии используют структурно-механические характеристики, одной из которых является нижнее граничное напряжение микротрещинообразования R_τ°, соответствующее началу образования необратимых микротрещин. R_τ° определяют с помощью ультразвукового импульсного метода по экстремуму зависимости относительного изменения скорости ультразвука $\Delta V/V_0$ от напряжений σ или с помощью тензометрического метода, например, по началу отклонения значений коэффициента поперечной деформации μ от прямой $\mu = const$ [I].

Однако оценка R_τ° при традиционных режимах загружения (непрерывном или ступенчатом сжатии) не всегда оказывается достаточно достоверной, к тому же значения R_τ°, полученные ультразвуковым и тензометрическим методами, часто не совпадают.

С целью повышения достоверности определения R_τ° автором предложено использовать метод акустической эмиссии, который является одним из наиболее чувствительных методов регистрации деструктивных изменений в бетоне, а также применить ступенчато-циклическое загружение образцов.

Проведенные эксперименты на бетонных образцах-призмах размером 7x7x28 см показали, что при ступенчато-циклическом сжатии R_τ° можно определять по началу интенсивного роста абсолютных значений остаточных скоростей ультразвука, а также остаточных значений коэффициента Пуассона μ (или поперечных деформаций). В представленном на рис. I примере значение R_τ° приблизительно равно 20 МПа. Этому же моменту соответствует начало интенсивного (ускоренного) возрастания числа импульсов акустической эмиссии за I цикл нагружения N и суммарного числа импульсов эмиссии за все предыдущие циклы нагружения ΣN (кумулятивная кривая).

Из рис. I также видно, что вплоть до нагрузок, достаточно близких к разрушающей, при ступенчато-циклическом кратковременном сжатии бетона эффект Кайзера соблюдается. Следует отметить, что с помощью и ультразвукового и тензометрического методов также

можно судить о предыстории нагружения (по началу падения $\Delta V/V_0$ и увеличения $\int\mu$ при нагружениях). Но, в отличие от метода акустической эмиссии, традиционные методы (ультразвуковой и тензометрический) позволяют определять значение достигнутой ранее максимальной нагрузки лишь при напряжениях, больших $R_т^0$. Метод акустической эмиссии свободен от этого ограничения.

Все сказанное еще раз подтверждает предпочтительность использования для изучения кинетики микротрещинообразования бетона комплекса неразрушающих методов, основанных на различных физических принципах, взаимно контролирующих и дополняющих друг друга. Это позволяет повысить достоверность результатов измерения , и, следовательно, сократить число испытаний.

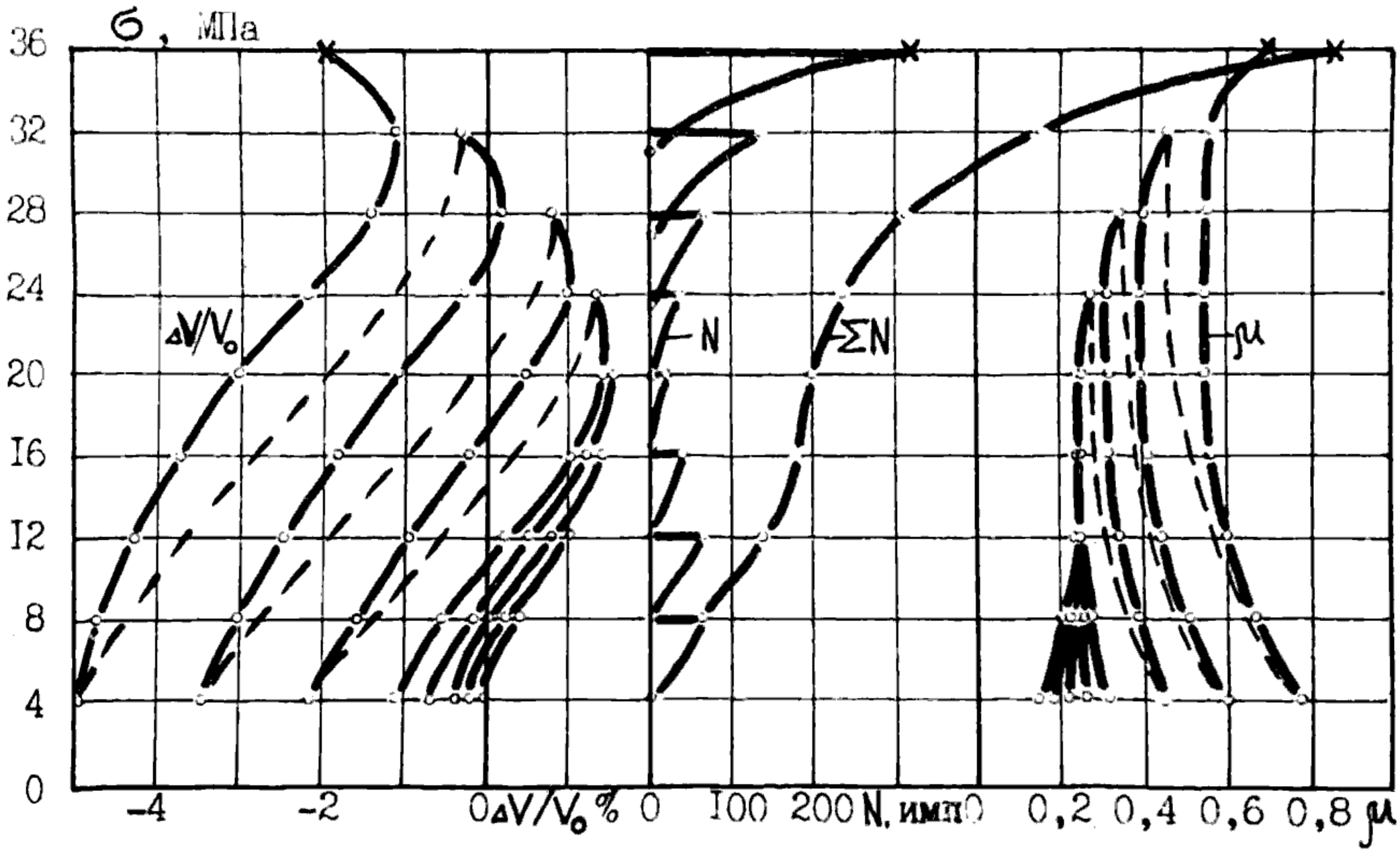


Рис. I

Литература:

I. Методика по определению прочностных и деформационных характеристик бетонов при одноосном кратковременном статическом сжатии. МИ II-74.-М.: Изд-во стандартов, 1975.-80 с.

АКУСТИКОЭМИССИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.Н. Андрианов, В.Г. Баранов, Ю.Г. Годин, Ю.В. Сидорин

Исследование термостойкости неотъемлемая часть программы разработки новых материалов, особенно керамических, для различных высокотемпературных установок и ряда технологических процессов.

В данной работе изучалось трещинообразование в керамических образцах цилиндрической формы при воздействии на них радиальных термоградиентов, создаваемых методом прямого пропускания тока. Испытания проводились как в режиме медленного нагрева, так и в режиме циклического термоударного нагружения со скоростями парастания радиального термоградиента 10 $\frac{К}{мм \cdot мин}$ и 2000 $\frac{К}{мм \cdot мин}$, соответственно.

В ходе эксперимента столбик из 2-3-х образцов, помещенный внутри газонаполненной рабочей камеры, зажимался между двумя электродами и через него пропускался ток порядка 3-5 А. В верхнем и нижнем электродах были выполнены глухие осевые отверстия, в каждом из которых размещены пьезопреобразователь, фиксированный пружиной, и предварительный усилитель. Это дает возможность измерить интенсивность и суммарное количество импульсов АЭ одновременно в нескольких горизонтальных сечениях образца. Также была предусмотрена возможность измерения содержания кислорода в рабочей атмосфере. В случае, если керамика представляет собой нестехиометрический окисел, содержание кислорода влияет на интенсивность процесса трещинообразования. Поэтому снималась также зависимость интенсивности АЭ от содержания кислорода.

Благодаря высокой чувствительности и помехоустойчивости системы регистрации, полученной за счет применения описанной выше конструкции электродов и высокой чувствительности электронной аппаратуры, регистрировались сигналы АЭ, вызванные как процессом трещинообразования, так и процессом пластического течения, который предшествует хрупкому разрушению образца. Полученные для непрерывной эмиссии, вызванной пластическим течением, амплитудные распределения по своему характеру сходны с амплитудными распределениями, полученными другими авторами, изучавшими акустическую эмиссию при пластическом деформировании керамики.

Наличие сигналов АЭ, вызванных процессом трещинообразования, приводило к появлению второго пика в области более высоких амплитуд.

В режиме термоциклирования было отмечено характерное для керамики нарушение эффекта Кайзера.

Амплитудный анализ, а также измерения интенсивности и общего количества импульсов АЭ, возникающих в различных сечениях образца, были проведены при помощи многоканального многопрограммного анализатора импульсов АИ-1024-95 с использованием специально разработанных электронных схем.

Полученные методом акустической эмиссии данные сопоставлялись с данными металлографического анализа, в результате чего создана модель связи параметров акустической эмиссии с прочностными и структурными особенностями материала.

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г.А. Фокин

Термообработка сырья является эффективным средством сокращения времени формирования структуры искусственных материалов. Однако, этот процесс сопровождается сложными физико-химическими превращениями как на стадии нагревания, так и охлаждения. Изучение этих превращений в условиях высоких температур и выбор оптимальных режимов обжига можно осуществить путем регистрации сигналов акустической эмиссии, возникающих в локальных зонах разрушения [I].

Так, обжиг глин сопровождается удалением различных форм воды, полиморфными превращениями, фазовыми переходами и т.д. Названные факторы вызывают изменения в структуре материала, которые сопровождаются при несоблюдении тепловых режимов образованием микро-и макротрещин. Для уменьшения разрушающего воздействия указанных эффектов необходимо знать их распределение по температурным интервалам. Выделяя в потоке сигналов АЭ с общим числом N интервал температур $T_2 - T_1 = \Delta T$ и полагая N пропорциональным ΔT, имеем в пределе соотношение

$$dN_{T,T+dT} = a_T \cdot dT.$$

Величина a_T, равная количеству сигналов АЭ, отнесенных на единичный интервал вблизи данной температуры T, представляет собой функцию распределения импульсов АЭ по различным значениям температур. Она является функцией температуры, а её вид зависит от природы исследуемого материала и условий термообработки (скорость подъема температуры, среда, градиенты температур и пр.). Количество импульсов АЭ, приходящихся на конечный интервал температур T_1 и T_2, выражается интегралом

$$N_{T_1,T_2} = \int_{T_1}^{T_2} a_T \cdot dT.$$

Таким образом, АЭ позволяет оценить интенсивность возникновения дефектов структуры в заданном интервале температур. Следовательно, можно установить связь между количеством импульсов АЭ, регистрируемых в период формирования структуры, и прочностью готовых изделий. Эта связь усматривается из следующих соображений. Число импульсов АЭ определяется количеством актов элементарных

разрушений. В плохо сформированных материалах имеет место разветвленная сеть микротрещин, поэтому количество импульсов АЭ возрастает и отношение $\frac{\Sigma N_i}{R_{сж}}$, где ΣN_i - сумма импульсов АЭ, а $R_{сж}$ - значение прочности на сжатие, принимает большие значения. В противном случае при нагружении имеет место развитие превалирующей магистральной трещины и $\frac{\Sigma N_i}{R_{сж}} \to 0$.

Вычисления показывают, что количество образовавшихся дефектов связано с количеством узлов соотношением

$$n = N \exp\left[\frac{-E}{KT}\right], \qquad (I)$$

т.е. концентрация дефектов быстро возрастает с повышением температуры. Полагая, что количество возникающих микротрещин в конгломератах подчиняется аналогичной зависимости и связывая уравнение (I) с отношением $\frac{\Sigma N_i}{R_{сж}}$, получаем

$$\Sigma N_i = \alpha R_{сж} \exp\left[-\rho R_{сж}\right], \qquad (2)$$

где коэффициенты α и ρ определяются в каждом конкретном случае экспериментальным путем. Проверка этого уравнения на различных обжиговых материалах показывает, что наблюдаемые в эксперименте отступления определяются в первую очередь несовершенством структуры, обуславливающей зарождение и развитие большого числа микродефектов . Следовательно, для материалов, обладающих минидефектной структурой, должно выполняться приведенное соотношение.

Данное уравнение определяет необходимое и достаточное условие получения керамических материалов с оптимально организованной структурой.

Полученные выводы говорят о целесообразности применения метода АЭ для исследования и контроля свойств обжиговых материалов. Подобные исследования позволяют вести непрерывное наблюдение за развитием деструктивных процессов на стадии формирования структуры.

Литература:

I. Немец И.И., Златковский В.Б., Фокин Г.А. Возможность применения акустической эмиссии для исследования термостойкости огнеупоров.-Огнеупоры, I982, № 3, с.47-50.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Ю.Л. Ароштам, Г.В. Подольская, В.О. Фрейеров

Возможность применения метода АЭ для прогнозирования прочности колец из стеклопластика без их разрушения была показана А.Ю. Детковым [I]. Такая же возможность имеется и для изделий из электротехнического фарфора [2], так как наблюдается корреляция /$\rho = 0{,}85$/ между напряжениями $\sigma_{кр}$, соответствующими моменту резкого увеличения скорости счета импульсов АЭ и разрушающими напряжениями $\sigma_р$ при изгибных испытаниях изоляторов: $\sigma_р = B\sigma_{кр} + \sigma_о$, где $\sigma_о$ - параметр, определяемый конструктивными размерами изделия. Определив в процессе опыта величину $\sigma_{кр}$, можно рассчитать значение $\sigma_р$.

Во ВНИИЭ разработана акустико-эмиссионная аппаратура, позволяющая автоматически определять момент времени, соответствующий достижению нагрузкой величины $\sigma_{кр}$. При выборе алгоритма функционирования аппаратуры рассматривались данные [I]. Однако, для фарфора оказался предпочтительней нижеописанный алгоритм, применение которого позволяет рассчитывать разрушающие напряжения с большей точностью.

При испытаниях каждого изделия на заранее заданном интервале изменения нагрузки усредняется скорость счета импульсов АЭ. Эта величина, умноженная на заданное число „К", принимается за браковочный уровень и с ним сравнивается текущее значение скорости счета импульсов АЭ при дальнейшем нагружении. В момент равенства этих величин регистрируется значение соответствующей критической нагрузки. Интервал изменения нагрузки, при котором усредняется скорость счета импульсов АЭ и величина „К", определяется предварительно при разрушающих испытаниях изоляторов калибровочной партии.

Функциональная схема устройства, реализующего описанный алгоритм [3], представлена на рис.I.

Импульсы АЭ воспринимаются пьезопреобразователем I, укрепленным на изделии, затем поступают на усилитель 2 и формирователь 3. Сформированные импульсы подаются на два параллельных канала обработки информации. В одном из каналов с помощью счетчика 4 и блока деления 6 измеряется скорость счета импульсов АЭ, уменьшенная в „К" раз. Скорость счета импульсов АЭ может регистрироваться на самописце или ленте цифропечатающего устройства. В другом канале счетчик 5, вход которого открывается только на период усред-

нения с помощью генератора тактовых импульсов 9 и блока управления 8, регистрирует сумму импульсов за период усреднения. В делителе 7 эта величина делится на соответствующее выбранному периоду количество тактов. Таким образом, на выходе этого канала получается число, соответствующее средней скорости счета импульсов за выбранный период. В момент, когда текущая скорость счета превысит усредненную, на выходе блока сравнения 10 появится импульс, который вызывает срабатывание сигнализации, остановку нагружающего устройства и регистрацию показаний силоизмерительного устройства.

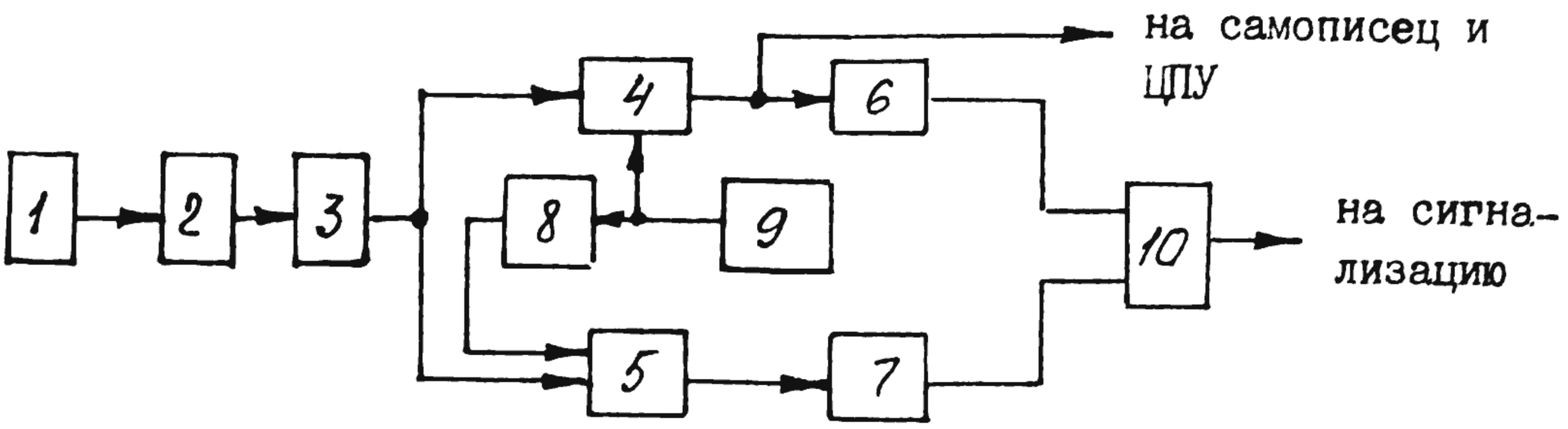


Рис. I.

Аппаратура предназначена для оценки прочности фарфоровых изоляторов как в процессе приемо-сдаточных испытаний, так и в условиях эксплуатации.

Максимальная погрешность определения разрушающих напряжений изгиба не превышает 20 %.

Литература:

I. Детков А.Ю. Применение метода акустической эмиссии для контроля прочности колец из стеклопластика.- „Дефектоскопия", I976, № 5.

2. Определение механической прочности фарфоровых изоляторов по характеристикам акустической эмиссии./ Ю.Л. Ароштам, Г.И. Карпова, Г.В. Подольская, В.О. Фрейеров, А.С. Харин.- „Электричество", I982, № 5.

3. А.с. 974257 (СССР). Устройство для акустико-эмиссионного контроля материалов./ Ю.Л. Ароштам, Г.И. Карпова, Г.В. Подольская, В.О. Фрейеров.- Опубл. в Б.И., I982, № 42.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АЭ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КРУПНЫХ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ

В.А. Трусков, С.И. Шерман

Прямыми геологическими методами получить данные о закономерностях развития и сейсмичности крупных разломов земной коры очень трудно в виду чрезвычайной длительности развития геологических структур. Экспериментальные методы позволяют промоделировать формирование крупного разлома и вычленить особенности его развития на отдельных этапах. АЭ метод применен в подобных экспериментах с целью изучения сейсмического режима моделируемого разлома.

В экспериментальной тектонике АЭ метод применяется при моделировании очага землетрясения, где в основном исследуются закономерности разрушения твердых, хрупких тел (Шамина, I98I и др.). В то же время для моделей крупных разломов земной коры и литосферы, согласно критериям подобия экспериментального процесса природному, необходимо использовать упруго-вязко-пластичное вещество. В нашем случае в качестве эквивалентного материала использовалась водная суспензия бурой глины вязкостью 10^5 Па·с (Шерман, Борняков, Буддо, I983). Было сделано предположение, что АЭ при разрушении упруго-вязко-пластичной модели отражает основные черты сейсмического процесса моделируемого разломообразования. Изучение методом АЭ разрушения подобных материалов, насколько нам известно, ранее не проводилось.

Прямоугольная модель подвергалась деформации среза, отвечающей одной из основных морфолого-генетических разновидностей природных разломов, при постоянной скорости деформирования.

Регистрировалось количество импульсов АЭ в I0-секундных интервалах времени эксперимента. Аппроксимирующая кривая, построенная по полученным значениям методом фурье-анализа по I4 гармоникам, приведена на рис. Iа. На рис. Iб показана кривая "нагрузка-деформация", по особенностям которой и наблюдениям сетки трещин на поверхности модели выделяются основные 4 стадии развития разлома (Трусков, Буддо, I982):

I. Предшествующая зарождению трещиноватости.
II. Зарождение мелкой трещиноватости (до начала прорастания магистральной трещины).
III. Формирование магистрального разрыва.
IУ. Движение берегов магистральной трещины.

Каждой стадии развития трещиноватости в модели соответствует характерный отрезок кривой $F(\varepsilon)$. Сопоставление обеих кривых дает возможность сделать вывод о взаимосвязи АЭ со стадиями развития магистрального разрыва, отраженными изменениями кривой $F(\varepsilon)$. Следовательно, по данным АЭ мы можем судить о степени сейсмической активности разлома на определенных этапах развития.

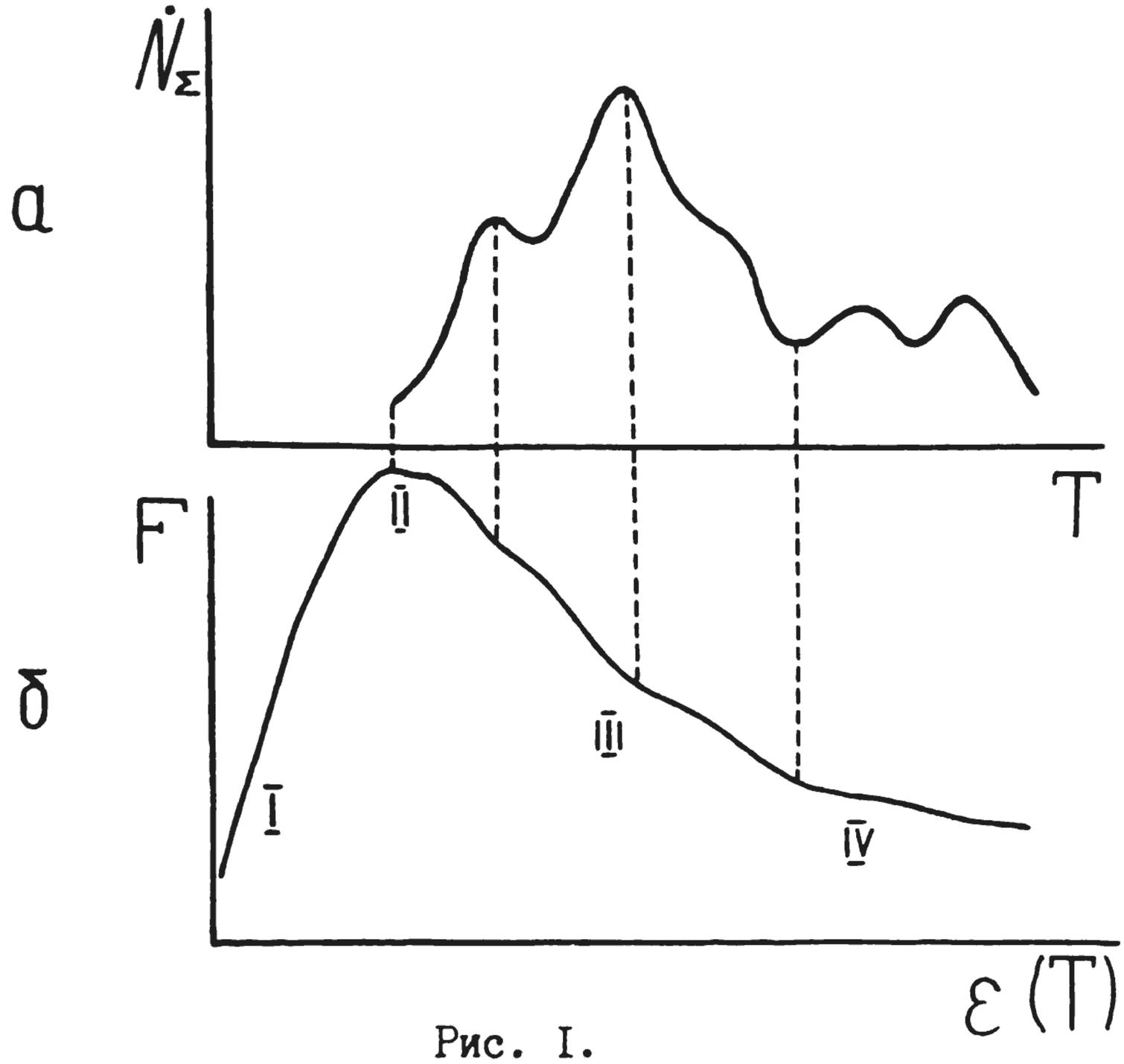


Рис. I.

Использован также анализ распределения импульсов АЭ по амплитудам. Интерес вызывает тот факт, что импульсы максимальных амплитуд фиксировались и на IУ стадии развития разлома во время скольжения одного берега разрыва относительно другого.

Проведено сопоставление геологических и экспериментальных данных.

Литература:

I. Шамина О.Г. Модельные исследования физики очага землетрясения. М.: Наука, I98I. I9I с.

2. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука, I983, II2 с.

3. Трусков В.А., Буддо В.Ю. Экспериментальное исследование стадийности процесса образования среза. - В кн.: Экспериментальная тектоника в решении задач теоретической и практической геологии. Ин-т геологии и геофизики, Новосибирск, I982, с. 65-66

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

И.Т.Айтматов, В.А.Мансуров

Использование метода акустической эмиссии (АЭ) для прогноза динамических форм проявления горного давления осложняется непостоянством физико-механических свойств горных пород и неопределенностью напряженного состояния реальных объектов. Простые зависимости типа кривых накопления сигналов АЭ в этом случае недостаточны.

Кинетику разрушения образцов горных пород при одноосном сжатии методом АЭ изучали, основываясь на способности горных пород накапливать при их нагружении упругую энергию. Эксперименты проводились на нагрузочном оборудовании, позволяющем получать полные кривые деформирования образцов горных пород, которые служат первичным источником информации о склонности последних к хрупкому динамическому разрушению. Это позволяет сопоставить процессы разрушения до предела прочности с характером его протекания при достижении последнего, что определяется по виду запредельной части кривой деформирования. Сигналы АЭ, возникающие при развитии трещин и их слиянии, регистрировались анализатором импульсов АИ-4096 - 3М-В-100. В результате изменений его схемы получили возможность определять для импульсов АЭ длительность и амплитуду и получать их спектры за время эксперимента.

Исследования показали, что АЭ в горных породах имеет специфические особенности, зависящие от характера готовящегося разрушения. Информация о способности породы накапливать упругую энергию проявляется как в динамических, так и кинематических параметрах сигналов АЭ и характеризует в горных породах развитие дефектов и их размеры.

Установлено, что породы, у которых АЭ начинает проявляться сразу по приложении нагрузки и параметры ее сигналов значительны по величине, имеют вязкий характер разрушения. Если в заключительной фазе разрушения при нагрузках,близких к предельным,происходит резкое возрастание АЭ, параметры сигналов которой непрерывно растут, происходит хрупкое разрушение. Кроме того, при его реализации максимальная интенсивность накопления сигналов АЭ на пределе прочности соответствует максимальной величине деформации.

ВЫЯВЛЕНИЕ МЕТОДОМ АЭ КООПЕРАТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД.

В.С.Куксенко,В.А.Мансуров,Б.П.Манжиков,В.А.Пикулин

Для регистрации АЭ,сопровождающей деформирование образца,использовался многомерный анализатор импульсов АИ-4096 и ЭВМ.Акустические сигалы (АС) преобразовывались демпфированным пьезоприемником и после предварительного усиления поступали на блок обработки,формирующий стандартные импульсы,пропорциональные длительности и амплитуде огибающей сигнала.При взаимном наложении нескольких сигналов (эшелонов) регистрировалась их общая длительность и максимальная амплитуда в эшелоне,т.е эшелон сигналов регистрировался как один акт АЭ.Накопление параметров событий и их анализ проводился в ЭВМ,причем каждому АС сопоставлялось время их появления Анализ результатов показал,что процесс разрушения протекает в две стадии.Первая характеризуется появлением,в основном,одиночных сигналов с определенной зависимостью между амплитудами и длительностями АС и соответствует дисперсному накоплению трещин в объеме нагруженного тела.Вторая стадия,соответствующая формированию и развитию очага разрушения,отличается преобладанием АС большой длительности и не пропорционально малых амплитуд,соответствующих кооперативному зарождению эшелонов трещин.Появление таких эшелонов является надежным прогностическим признаком формирования очага разрушения и,в целом,-предвестником макроразрушения образца.Возможность анализа АЭ в реальном масштабе времени позволила также исследовать кинетику формирования микроочагов разрушения и их релаксацию.

Обсуждаются вопросы применимости выявленных прогностических параметров в решении задач прогнозирования макроразрушения крупногабаритных конструкций и массивов горных пород,приводящего к горным ударам.

СВЯЗЬ АКУСТОЭМИССИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Б.Ш.Манжиков, Л.Ж.Горобец

Для решения проблемы оптимизации энергетических условий образования крупнокусковых и тонкодисперсных фракций в процессе измельчения горных пород привлечен метод акустической эмиссии, позволяющий получать результаты о размерах образующихся трещин и величине концентрационного критерия. В качестве модельных объектов использовались образцы из мрамора, диабаза и железной руды размерами 30x30x60 мм, которые подвергались одноосному сжатию при комнатной температуре.

Выявлены и измерены параметры акустической эмиссии (акустоэмиссионная эффективность, критическая амплитуда и длительность формирования акустического сигнала и др.), характеризующие эффективность и кинетику трещинообразования. Знание количественных и качественных соотношений акустоэмиссионных и деформационных свойств горных пород на стадии лабораторного нагружения образцов позволило разработать методику оценки показателей измельчения и дефектности исходных образцов.

В основу прогнозирования удельного расхода энергии на измельчение и количества образующихся тонкодисперсных фракций положены зависимости концентрационного критерия и относительной деформации разрушения от масштабного фактора. С уменьшением размера разрушаемого объекта растет степень относительной деформации разрушения, что обуславливает увеличение энергоемкости процесса с одновременным уменьшением разницы в затратах энергии на образование крупных фрагментов (дробление) и тонкодисперсных фракций (диспергирование).

Экспериментально подтверждены предложенные энергетические показатели приближенной оценки процесса измельчения в лабораторных и природных условиях.

Проф., д.т.н. И.М.Петухов, к.т.н. В.М. Проскуряков (ВНИМИ Минуглепрома СССР), к.т.н. И.Т.Айтматов, Н.Т.Попов (ИФ и МГП АН Киргизской ССР)

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ С ЦЕЛЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УДАРООПАСНОСТИ УЧАСТКОВ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Совместными научно-исследовательскими работами ВНИМИ и ИФиМГП АН Киргизской ССР создается система наблюдения за изменением параметров акустической эмиссии (АЭ) с целью осуществления непрерывного контроля и оценки степени удароопасности участков массива горных пород.

В системе наблюдения решаются следующие задачи:

- дистанционный контроль естественной АЭ массива горных пород;
- выявление зон повышенной концентрации напряжений при ведении горных работ в массиве и осуществление контроля за их перемещением;
- организация сбора, передачи и регистрации данных по каналам связи.

В качестве информативных параметров сигналов АЭ используется интенсивность АЭ (фиксация превышений амплитудного значения сигнала АЭ установленного уровня за наблюдаемый период) и изменения соотношений между спектральными составляющими сигналов АЭ.

В комплекс технических средств системы входят:

- цифровой коммутатор передачи данных (ЦКПД);
- первичные преобразователи с накопителями;
- измерители интенсивности АЭ.

ЦКПД по заданному алгоритму производит опрос первичных преобразователей с накопителями и передает информацию на регистрирующее устройство. В состав ЦКПД входит пульт управления (ПУ) и контролируемые пункты коммутации КПК, которые позволяют подключить до 16 первичных преобразователей с накопителями.

Для передачи информации от первичных преобразователей к КПК используется радиоканал (максимальное удаление первичного преобразователя определяется зоной радиовидимости в выбранном диапазоне и составляет 200-400 метров). Для связи КПК - КПК-ПУ используется двухпроводная линия. Для обмена информации по двухпроводной линии применяется кодо-импульсная модуляция двух частот. Отличительной особен-

ностью данного комплекса от существующих технических средств, связанных с исследованиями АЭ в горных породах, является возможность его дистанционного применения в шахтных условиях и агрегатированного наращивания структуры. Эти качества позволяют группировать с помощью КПК большое количество первичных накопителей в систему постоянного наблюдения, обеспечивающую постоянный контроль за параметрами естественной эмиссии в отдельных шахтных полях.

Контроль за перемещением зоны повышенной концентрации напряжения вблизи обнажения в горной выработке осуществляется переносным комплексом приборов, регистрирующих изменения спектральных составляющих сигналов АЭ.

Критерии оценки и контроля степени удароопасности на основе измерения естественной шумности горного массива базируются на экспериментальных данных, получаемых в настоящее время как в лабораторных условиях при испытаниях образцов пород конкретного месторождения, так и в натурных условиях при испытаниях системы совместно с традиционными методами оценки напряженного состояния и удароопасности массива горных пород.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА И ПРОГНОЗА ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

М.С.Анцыферов

В течение тридцати лет ведутся работы по использованию АЭ для контроля состояния угольного массива на глубоких горизонтах угольных шахт Донбасса. За это время пройден путь от первых экспериментов до широкого производственного внедрения. Датчик АЭ (геофон) вводится в скважину в угольном массиве на I5–20 метров впереди забоя, обжимается горным давлением и воспринимает сигналы АЭ из массива на расстоянии до 50–I00 м. Сигналы АЭ передаются по проводам на поверхность (на расстояние до 5–7 км) в диспетчерский пункт, где ведется непрерывный счет скорости следования их. Стационарный режим АЭ свидетельствует, как правило, о достаточной стабильности горного давления и безопасности добычных работ. Повышение концентрации горного давления, вызывающее существенное оживление процесса растрескивания горного массива и могущее привести к динамическому явлению (горному удару, выбросу угля и газа, обрушению кровли и т.п.), отражается в виде соответствующего повышения активности АЭ, для которой в горном деле утвердился международно признанный термин: сейсмоакустическая активность.Признаком перехода угольного забоя из безопасного состояния в опасное служит повышение часовой сейсмоакустической активности не менее чем в 4–5 раз по сравнению со средним стационарным фоном.

Весьма существенно, что непрерывный сейсмоакустический контроль состояния угольного пласта дает возможность отрабатывать его в безопасных зонах без применения специальных дорогостоящих защитных мероприятий, снижающих, к тому же, уровень добычи угля. Эти мероприятия вводятся в обязательном порядке только в опасных зоных, определяемых службой сейсмоакустического контроля, работающей в настоящее время более чем на 60 шахтах Донбасса и обслуживающей более 400 добычных участков.

"Обратная связь" службы сейсмоакустического контроля с добычным участком позволяет регулировать темпы добычи, замедляя и даже временно приостанавливая добычу по мере приближения активности АЭ к критическим значениям. Это дает возможность проводить отработку пласта, избегая создания опасных ситуаций.

Корреляционный анализ режима АЭ угольного пласта на протяжении многих месяцев и даже лет показал наличие периодических вариа-

ций активности. Короткие периоды (суточные, недельные) связываются с календарными циклами добычных работ. Более длительные периоды (от I5–20 дней до 80–I00 дней и более), по-видимому, вызываются периодическими зависаниями и обрушениями слоев горных пород, залегающих над отрабатываемым угольным пластом. К наиболее длинным периодам тяготеют и наиболее интенсивные динамические явления, предотвращение которых требует особо тщательных и эффективных мероприятий. Заблаговременное предупреждение о подходе выработки к такой зоне имеет решающее значение для обеспечения безопасности подземных горных работ.

Регистрация АЭ угольных пластов производится при помощи аппаратуры ЗУА–4, выпускаемой Таганрогским заводом "Виброприбор". В настоящее время аппаратура морально и технически устарела; ведется конструкторская проработка новой модели. Разработана также более совершенная геофизическая аппаратура ПГФ, позволяющая совместить регистрацию АЭ с измерением нормальных напряжений в угольном массиве.

Основные исследования АЭ угольных пластов Донбасса проведены Институтом горного дела им.А.А.Скочинского (Люберцы) и Горловским отделением Донецкого угольного института (Горловка) с участием Института геотехнической механики АН УССР (Днепропетровск). Отдельным аспектам этих исследований посвящен ряд специальных докладов. В разработке и создании аппаратуры ПГФ активно участвовал институт Гипроуглеавтоматизация Минуглепрома СССР.

Литература:

I. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа. М., изд. "Недра", I977.

2. Сб. "Горная геофизика" (тезисы докладов). Тбилиси, изд. "Мецниереба", I98I.

3. Сб. "Горная геофизика" (тезисы докладов). Тбилиси, изд. Института горной механики АН ГССР, I983.

4. М.С.Анцыферов и др. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений, М., "Наука", I97I.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРЕДВАРЯЮЩИХ И СОПРОВОЖДАЮЩИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

А.Г.Константинова

Одним из направлений работ по созданию и усовершенствованию сейсмоакустических методов прогноза динамических явлений в угольных шахтах являются исследования сигналов акустической эмиссии при разрушении горных пород.

Разрушение образцов пород производилось путем раздавливания и раскалывания. Изучаемыми параметрами сейсмоакустических процессов, сопровождающих разрушение образцов и угольных пластов являлись: частота и форма импульсов, их амплитуда и энергия, а также шумность, определяемая количеством импульсов, зарегистрированных в единицу времени. Выполненные исследования, проводившиеся в лабораторных и шахтных условиях, позволили выявить ряд закономерностей.

Установлено, что при работе в звуковом диапазоне основная частота и форма упругих импульсов, возникающих при разрушении образцов, определяются собственными колебаниями, возбуждающимися в образцах при нагружении. Выявленные зависимости собственной частоты колебаний образцов, возбуждаемых ударами, от величины одноосного сжатия, указывают на возможность использования сигналов АЭ для контроля за напряженным состоянием образцов, подвергающихся нагружению [I].

При нагружении образцов, обладающих высокими однородностью и прочностью, упругие импульсы возбуждались непосредственно перед потерей несущей способности образцов. При нагружении менее прочных образцов, обладающих большим числом трещин и вкраплений, значительная часть энергии упругих импульсов выделялась задолго до их окончательного разрушения. Данная закономерность может быть использована для изучения относительной неоднородности образцов [2].

В процессе раздавливания угольных образцов, перед потерей их несущей способности, энергия упругих колебаний, приходящаяся на единицу времени, средние значения амплитуд импульсов, а также шумность возрастают по закону, близкому к геометрической прогрессии [I].

Энергия упругих колебаний, зарегистрированных при раскалы-

вании образца, пропорциональна площади поверхности разрыва и квадрату предельного напряжения. Длительность образования одиночной поверхности разрыва находится в экспоненциальной зависимости от предельного напряжения.

Динамическим явлениям в угольных пластах предшествует общее повышение уровня шумности[3]; это использовано при разработке руководства по сейсмоакустическому прогнозу выбросоопасности угольных пластов. Периоды повышенной шумности характеризуются одновременным повышением амплитуд и энергии упругих импульсов.

Динамическим явлениям, происшедшим в зонах геологических нарушений и на участках повышенного горного давления, предшествуют возрастания шумности по закону геометрической прогрессии[I].

На частоту упругих импульсов, возникающих при разрушении угольных пластов, значительное влияние оказывают резонансные явления в пласте и в месте установки сейсмоприемника. Перед динамическими явлениями и во время их протекания наблюдаются резкие изменения спектров частот упругих импульсов.

Энергия сейсмоакустических процессов в начальные периоды выбросов возрастает по закону близкому, к линейному; после достижения максимального значения наблюдается ее плавных спад. В ряде случаев энергия претерпевает скачкообразные изменения [4].

Данные сейсмоакустических наблюдений, выполнявшихся в лабораторных и шахтных условиях, могут быть использованы при исследовании механизмов подготовки и протекания динамических явлений в угольных пластах и усовершенствовании методики их прогноза.

Литература:

I. А.Г.Константинова. Сейсмоакустические исследования предвыбросных разрушений угольных пластов. М.,"Наука", I977.

2. А.Г.Константинова. О применении сейсмоакустического метода для исследования неоднородности образцов - Изв.АН СССР. Физика Земли, I966, № I.

3. М.С.Анцыферов, А.Г.Константинова, Л.Б.Переверзев. Сейсмоакустические исследования в угольных шахтах. М., Изд-во АН СССР, I960.

4. А.Г.Константинова. Об оценке сейсмической энергии разрушения угольного пласта перед динамическими явлением и во время его протекания. - В сб. Научные сообщения ИГД им. А.А.Скочинского, вып. I86, М., I980.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА

Н.К.Иванов-Шиц,Н.Г.Анцыферова,
Т.И.Красильникова, Л.С.Тучкова

Угольный пласт представляет собою деформируемое твердое тело, с выраженными свойствами упругости, вязкости, наследственности и, что особенно важно в данном случае,- хрупкости. Прорастание каждой трещины сопровождается выделением импульса АЭ, регистрируемого в угольных пластах Донбасса на расстояниях до 50-100 м в частотном диапазоне 200-2000 Гц. Более низкие частоты маскируются шумом работающих механизмов, более высокие - в связи с большим затуханием - локализуются в ближайших окрестностях источника. Последовательность импульсов АЭ, регистрируемых при выемочных работах в угольном пласте, удовлетворяет обычно геометрическому закону распределения вероятностей (на часовых интервалах регистрации). Нарушение независимости отдельных значений активности АЭ, появление больших всплесков (с вероятностью менее 2%) соответствует началу самопроизвольного макроразрушения угольного массива. Подход к макроразрушению характеризуется также возрастанием наклона траекторий накопленной АЭ (в билогарифмическом масштабе), что перекликается с поведением структурного коэффициента в формуле долговечности С.Н.Журкова непосредственно перед разрушением материала. Выполненные лабораторные эксперименты по деформированию и разрушению образцов из модельных материалов с использованием многоканальной высокочастотной регистрации АЭ показали явно выраженную многостадийность процесса разрушения, проявляющуюся в неравномерности и неоднородности накопления микротрещин как во времени, так и в объеме нагружаемых образцов. Совместный анализ кинетики образования микротрещин по данным локации источников АЭ и амплитудно-частотный анализ сигналов АЭ позволяет выявить переход от стадии накопления микроразрушений по всему разрушаемому объему к макроразрушению в достаточно хорошем соответствии с концентрационным критерием С.Н.Журкова и В.С.Куксенко.

Угольный пласт является ярко выраженным волноводом, формирующим каналовые волны. Скорость распространения продольных волн в пласте в 4 раза ниже, чем во вмещающих породах почвы и кровли. Преобладающие частоты импульсов АЭ определяются мощностью волноводного слоя и весьма чувствительны к полю напряжений опорного

давления. В зависимости от давления модуль деформации угольного массива меняется в пределах нескольких порядков, что находит отражение в частоте каналовой волны. С ростом напряжений растет модуль деформации и преобладающая частота импульсов АЭ. При подходе к разрушению и потере устойчивости массива, происходит разрыхление и соответствующее снижение частоты импульсов АЭ.

Все три параметра: появление маловероятных всплесков активности АЭ, изменение наклона накопленных траекторий АЭ и появление низкочастотных импульсов могут применяться для прогноза моментов самопроизвольного разрушения угольного массива под действием опорного давления.

Пространственно АЭ угольного пласта приурочена к краевой части пласта, то есть - к зоне опорного давления, инициирующего микроразрушения внутри массива. Это установлено многоканальной локацией координат очагов в горных выработках. Локация осуществлялась по временным сдвигам каналовых волн на разнесенной системе геофонов.

Растрескивание пространственно следует за перемещением выемочного механизма, охватывая область радиусом I0-I5 м. На ранних стадиях растрескивания имеет место образование множества мелких трещин. Переходу к динамическому явлению предшествует появление значительного количества крупномасштабных трещин.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ФОНЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ШУМОВ В УГОЛЬНЫХ ЗАБОЯХ ДОНБАССА

Г.М.Иванова, А.И.Кравец

На шахтах Донбасса применяется звукоулавливающая аппаратура для контроля акустической эмиссии горного массива. Аппаратура позволяет в шахте преобразовывать микросейсмическую волну в электрические сигналы и в аналоговой форме передавать их на поверхность в пункт регистрации, где они записываются на магнитные ленты, воспроизводятся громкоговорителем и селектируются по источникам. Частотный диапазон канала регистрации 200÷2000 гЦ, динамический диапазон до 40 дБ. Сейсмоакустическая информация, передаваемая по каналу, состоит из набора звуковых образов; на выходе аппаратуры может присутствовать до 15 образов. Оценка и прогноз состояния горного массива ведется по его акустической эмиссии (АЭ), единицей измерения которой является "Часовая шумность"-число сейсмоимпульсов за каждый час наблюдений. Отсутствие единого эталона образа сейсмоимпульса (СИ) обуславливает субъективизм в их распознавании и малую достоверность количественных оценок активности эмиссии. Удовлетворительная для практики достигнутая достоверность прогнозирования в таких условиях измерения объясняется значительной величиной эффекта в изменении активности эмиссии при различных состояниях горного массива. Одним из перспективных направлений увеличения достоверности сейсмопрогноза является автоматизация распознавания сейсмоакустической информации. В 1975 г. в Донуги начаты работы по созданию машинных методов распознавания импульсов эмиссии из общего потока информации.

Рассмотрен один из возможных путей решения проблемы - распознавание звуковых образов в пространстве признаков. В общем случае информативными признаками звуковых образов могут быть физические характеристики импульсных сигналов - длительность сигналов (τ), амплитуда (A), частота заполнения (f), частота следования (f_0). Полученные спектры по всем исследуемым параметрам позволяют сделать вывод, что они унимодальны и существенно пересекаются для признака " A " и " f ". Отмечается некоторое различие мат. ожидания в спектрах по признаку " τ " и " f_0" . Это обстоятельство позволило разработать опытный образец устройства автоматического распознавания и счета сейсмоимпульсов (УАСП), реализующий следующий алгоритм:

- дискриминация импульсов по длительности;
- дискриминация импульсов по частоте заполнения;
- выделение неравнозначных импульсов по длительности.

Устройство может одновременно обслуживать три канала сейсмоинформации. Погрешность в воспроизводимости результатов определения шумности не более 15%. Теснота корреляционной связи между точками на прогнозных кривых, полученных по результатам субъективной и автоматической селекции, равна 0.67-0.99 (по разным каналам регистрации, отличающихся уровнем активности акустической эмиссии).

Впервые практически решена проблема машинного выделения импульсов акустической эмиссии горного массива в общем потоке звуковых образов, регистрируемых звукоулавливающей аппаратурой, в действующих забоях.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. АЭ при физико-химических и физико-механических процессах.

I.I. АЭ при общей и локальной коррозии металлов и сплавов.
В.М.Баранов, Т.В.Губина (Москва). 3

I.2. АЭ при физико-химических процессах.
А.В.Бакулин (Ленинград). 5

I.3. АЭ и механизм разрушения α-латуни в присутствии ртути.
Е.Э.Гликман, В.И.Игошев, А.П.Брагинский (Москва). 7

I.4. Механизм возникновения АЭ при активно-пассивном переходе на алюминии.
А.В.Бакулин, В.И.Попов (Ленинград). 8

I.5. Применение АЭ для исследования инкубационного периода и распространения трещины при коррозионном растрескивании высокопрочных материалов в морской воде.
Е.В.Несмашный, В.В.Потапов, К.И.Кириллов (Одесса). I0

I.6. Магнитоупругая акустическая эмиссия в монокристаллах Fe + 3%Si
Э.С.Горкунов, О.А.Бертенев, В.А.Хамитов (Ижевск). II

I.7. Применение метода АЭ для изучения кинетики микро- и макроразрушения гетерогенных материалов.
А.М.Лексовский, К.Б.Вакар, Р.М.Ахунов, Г.Х.Нарзуллаев, В.Р.Ржевкин, Л.Г.Орлов (Ленинград). I3

I.8. Изучение механизма деформации и разрушения композиционных материалов методом АЭ.
Е.А.Кулешова, В.А.Куликов, О.В.Гусев, А.Г.Пенкин (Томск). I5

I.9. Использование метода АЭ для исследования закономерностей деформирования и разрушения композиционных материалов.
В.А.Стрижало, С.И.Лихацкий, Ю.В.Добровольский, М.П.Земцов (Киев). I7

I.I0. Исследование связи параметров АЭ с динамикой разрушения слоистых металлических материалов.
М.Б.Милешкин, М.И.Палатник, И.В.Библик, Е.И.Музыка (Харьков). I9

I.II. Использование АЭ для прогнозирования долговечности хрупких композиционных материалов.
В.В.Трофимов, П.В.Половников (Ленинград). 2I

I.I2. Изучение микромеханики разрушения аморфных полимерных материалов с использованием метода АЭ.
Б.Л.Баскин, А.М.Лексовский, В.Р.Ржевкин, К.Б.Вакар (Ленинград). 23

I.I3. Современное состояние и перспективы развития метода АЭ для контроля качества изделий из композиционных материалов.
И.С.Гузь (Харьков). 25

I.I4. Использование метода АЭ для оценки трещиностойкости композиционных материалов.
И.С.Гузь, В.Н.Наумец, В.В.Булах, А.Т.Никифоров, И.Р. Рудман (Харьков). 26

I.I5. Акустическая эмиссия из материалов при фазовых превращениях.
Б.И.Вороненко, Б.П.Москвичев (Горький). 28

I.I6. АЭ при фазовых превращениях в щелочных материалах и криокристаллах.
О.Е.Парфенов, В.Ф.Скок, В.А.Сухопаров, А.А.Чернышов (Москва) 30

I.I7. Исследование АЭ при мартенситных превращениях в сплавах на основе TiNi.
В.А.Плотников, Л.А.Манасевич, Ю.И.Паскаль (Томск). 32

I.I8. Влияние температуры отпуска сталей 40Х, 30ХГСА, У8 на параметры АЭ.
Н.М.Меньшиков, Ю.С.Субботин (Свердловск). 34

I.I9. АЭ при полиморфных превращениях в теллуриде германия.
О.Ш.Гогишвили, С.П.Лалыкин, Н.С.Редька, Н.П.Рубинштейн (Сухуми). 36

I.20. Исследование АЭ при переполяризации сегнетоэлектрических кристаллов.
В.В.Белов, Л.К.Зарембо, О.Ю.Сердобольская (Москва). 38

I.2I. Использование метода АЭ для исследования напряженного состояния твердых тел.
В.А.Калитенко, И.Я.Кучеров, О.В.Ляшенко, В.М.Перга (Киев). 40

I.22. АЭ при фазовом превращении в иодате лития.
К.Ж.Аубакирова, А.И.Недбай, С.Н.Сакиев, В.А.Шутилов (Ленинград). 42

I.23. АЭ при высокотемпературной пластической деформации керамического ядерного топлива.
Ю.В.Божко, В.В.Еремин, Л.И.Лавейкин, В.Б.Малыгин, К.В. Набойченко (Москва). 41

I.24. Применение метода АЭ к исследованию хрупкости материалов.
Ю.С.Боярская, М.С.Кац, Е.И.Пурич (Кишинев). 46

I.25. Исследование процессов зарождения и развития трещин при микродеформировании твердых тел.
Э.А.Хопунов, А.В.Первухин (Уфа). 48

I.26. АЭ тугоплавких металлов при действии электрического поля
М.С.Кац, Е.И.Пурич, В.М.Ревуцкий (Кишинев). 50

I.27. Применение метода АЭ для экспресс-анализа прочности и адгезии защитных покрытий.
А.М.Коткис, А.М.Ширяев (Горький). 52

I.28. АЭ в процессе генерации радиационных дефектов ионной имплантацией.
Д.Адлене, Д.-Ю. Бингялене, Л.Пранявичус, А.Рагаускас (Каунас). 54

I.29. Акустическая эмиссия при коррозии алюминевых сплавов.
Ю.Ф.Стрыгин (Куйбышев). 56

I.30. Определение поверхностных остаточных напряжений в высокопрочных сталях методом АЭ.
Н.А.Деев, В.И.Ковалевский, В.А.Клейменов (Воронеж). 58

2. АЭ - как метод неразрушающего контроля изделий.

2.I. Разработка и внедрение технологии АЭ в машиностроении.
В.К.Шухостанов (Северодвинск). 60

2.2. Контроль тормозных резервуаров тепловозов методом АЭ.
А.П.Батунер, Я.Г.Фейгин (Москва). 62

2.3. АЭ контроль целостности оболочки сосуда давления во время гидроопрессовки.
И.В.Гулевский (Жуковский). 64

2.4. Анализ связи параметров АЭ с особенностями разрушения и прочностью полимерных композиционных материалов.
М.Б.Милешкин, Е.И.Музыка, И.В.Библик (Харьков). 65

2.5. Результаты отработки в промышленности АЭ контроля определения координат дефектов в сварных емкостях из металла.
В.Г.Тихий, А.Я.Недосека, Т.Ф.Барановская, Б.А.Надолинный, Н.В.Горлицын, Ю.В.Жбанов, В.Г.Ситало (Днепропетровск). 67

2.6. Диагностика высоконапряженного сварного сосуда давления многоканальной АЭ-системой.
В.К.Шухостанов, Б.Я.Маслов, Е.В.Несмашный (Северодвинск). 69

2.7. Оценка дефектности сосудов высокого давления по параметрам АЭ.
В.Н.Иванов, С.П.Быков, А.Н.Рябов (Москва). 71

2.8. Современное состояние и перспективы применения АЭ для диагностики нефтегазопроводов при эксплуатации.
В.М.Белов (Москва). 73

2.9. Исследование АЭ при разрушении теплоустойчивой стали в условиях ползучести.
В.А.Лукьяненко, В.Ф.Злепко, В.И.Гладштейн (Москва). 75

2.I0. АЭ-контроль сварных соединений труб с трубными досками.
В.М.Белов (Москва). 77

2.II. Модель источника акустических сигналов при утечках жидко в задачах АЭ-контроля.
Ю.Б.Дробот, В.В.Лупанос (Хабаровск). 79

2.I2. Спектральный анализ АЭ при контроле утечек в подводном трубопроводе.
Б.М.Лашшин, В.В.Янисов (Томск). 8I

2.I3. Повышение точности локации течи в трубных досках теплообменников.
В.Н.Бачегов, О.Н.Пустовой (Хабаровск). 83

2.I4. Влияние неоднородностей в трубопроводах на правильность показания направления на утечку.
В.Н.Бырин, В.Н.Бачегов, Т.Н.Адмакин (Хабаровск). 85

2.I5. АЭ-контроль металлоконструкций мостовых кранов.
К.К.Царев, О.Р.Туйкин, Г.П.Кузнецов (Москва). 87

2.I6. О контролепригодности авиационных конструкций при использовании метода АЭ.
Ю.П.Бородин, А.А.Чернов (Жуковский). 89

2.I7. Техническая диагностика конструкций планера самолета с использованием метода АЭ.
Ю.П.Бородин (Жуковский). 9I

2.I8. Диагностика усталостных повреждений деталей авиационной техники методом АЭ.
Е.А.Коняев, М.А.Банов, А.И.Урбах (Рига). 93

2.I9. Обнаружение повреждения силовых элементов планера самолета с использованием сигналов АЭ.
В.В.Кошкин, П.П.Макаренко, Е.П.Вахрамов (Москва). 95

2.20. Разработка и внедрение экспресс-методов оценки состояния несущих элементов крупнопанельных зданий на основе АЭ и статистического анализа.
И.А.Горбунов, М.В.Черноныжский, Н.М.Тушина, К.Л.Ковлер (Москва). 97

2.2I. АЭ диагностика мостовых и строительных конструкций.
А.И.Манохин, Б.А.Лифшиц, Л.И.Маслов, А.В.Белов, В.Н.Рожнов, П.М.Арцимович (Москва). 99

2.22. Использование АЭ для контроля состояния железобетонных мостов.
Г.Б.Муравин, А.Л.Ерминсон (Хабаровск). I00

2.23. Использование АЭ контроля для оценки надежности и долговечности ответственных объектов.
В.И.Иванов, С.П.Быков, А.Н.Рябов (Москва). I02

2.24. Методика прогнозирования остаточного ресурса материала по сигналам АЭ.
В.Г.Гришко, В.А.Стрельченко (Киев). I03

2.25. Методика диагностирования изделий на основе АЭ.
В.Е.Вайнберг, Л.И.Дехтярь, М.Г.Орлов, В.М.Романов (Кишинев). I07

2.26. АЭ как метод определения величины накопленного повреждения при программном нагружении.
М.Д.Банов (Рига). I09

2.27. Внедрение АЭ метода прогнозирования давления разрушения деталей из композиционного материала.
Б.А.Надолинный, В.Г.Тихий, Ф.П.Санин, В.Б.Горев, О.Я.Прищенко (Днепропетровск). III

2.28. Прогнозирование циклического ресурса многослойных металлических сильфонов с использованием метода АЭ.
В.С.Артеменков, В.Н.Бырина, Ю.С.Москаленко, А.Г.Молодожен (Ленинград). II3

3. АЭ при технологическом контроле.

3.I. Метод АЭ как средство сокращения этапа технологической подготовки производства.
В.Н.Подураев, А.В.Кибальченко, В.Н.Алтухов (Москва). II5
3.2. Применение метода АЭ при решении задач технологической диагностики.
А.А.Барзов, И.А.Тутнов (Москва).
3.3. АЭ приборы для диагностики состояния технологического оборудования и инструмента.
В.Г.Возжаев, А.Л.Ерминсон, С.С.Жуковский, А.М.Лазарев, Л.Ю. Однопозов, С.М.Шрейбер (Хабаровск). II8
3.4. Управление механической обработкой с помощью сигналов АЭ.
В.Н.Подураев, А.В.Кибальченко, С.П.Бабак (Москва) I20
3.5. Исследование трещинообразования методом АЭ при опрессовке чугунных напорных труб.
А.И.Ляшков, В.Н.Савельев (Ленинград). I22
3.6. Использование АЭ при гидроштамповке.
Н.А.Бунина (Ленинград). I23
3.7. Неразрушающий контроль сердечников стрелочных переводов при их правке. I24
В.В.Казаков, В.И.Петров,Н.А.Челышев, Г.А.Червов (Новокузнецк)
3,8. Применение АЭ для контроля правки железнодорожных рельсов.
Е.А.Шур, В.И.Урбах (Москва) I26
3.9. Регистрация АЭ от дефектов в процессе сварки судовых конструкций.
Г.Л.Жиденко, В.Г.Пономаренко (Николаев). I28
3.I0. АЭ контроль сварных соединений из титановых сплавов.
В.Г.Батуев, Б.К.Гавриленко, В.П.Ченцова, О.И.Юсупов (Хабаровск). I3I
3.II. Исследование свариваемости и коррозионностойкости стали 06Х8Г2М методом АЭ.
Б.П.Пилин, В.А.Докучаев, Н.В.Кириличев (Волгоград). I33
3.I2. Использование АЭ контроля сварки на П О "Уралмаш".
В.В.Волков,И.Ю.Ивлев,В.В.Лаптев,В.И.Панов,А.А.Быданов,И.В.Лях (Свердловск) I34

3.13. Исследование АЭ метода контроля замедленного разрушения в технологических пробах.
Б.К.Гавриленко (Хабаровск). 136

3.14. Исследование сигналов АЭ в сварных соединениях из среднелегированной стали 20Х2Н-4А при развитии холодных трещин.
И.Г.Ефименко, В.Н.Катанчик, И.П.Дорошенко (Харьков). 138

3.15. Использование АЭ в оценке характеристик сварных соединений,работающих в условиях низких климатических температур.
А.П.Аммосов, А.М.Жирков, В.П.Ларионов (Якутск). 140

3.16. АЭ контроль качества сварных соединений термонагружением.
М.А.Карамышев, А.В.Краснов (Уфа). 142

3.17. Применение АЭ при исследовании процесса циклического разрушения в резьбовых соединениях.
Н.А.Махутов, Л.Ю.Однопозов, В.А.Коган (Вильнюс). 144

3.18. О некоторых закономерностях акустического излучения при влиянии трещин твердых тел.
Г.А.Сарычев, В.М.Щавелин (Москва). 146

3.19. Исследование дефектов зоны контактной сварки и их систематизация для оценки эффективности контроля сварки методом АЭ.
Ю.С.Веселянский, И.С.Гузь, В.Я.Воронько (Харьков). 148

3.20. Разработка и промышленное применение АЭ контроля качества микросварных соединений. Серийный прибор контроля КМС-М207.
Г.И.Мамин, Е.Ф.Лукьянов, М.Б.Милешкин, Е.И.Музыка, В.М. Палетов, А.П.Савченко (Харьков). 149

3.21. АЭ при механических испытаниях электрокерамики.
Е.Г.Пашук, А.Ш.Атаев, В.Д.Бешенцев, Л.П.Карпиловский, Ж.Х.Мурлиева, Д.К.Палчаев,Б.П.Пашаев (Махачкала). 151

3.22. Метод АЭ в исследованиях усталости конструкционных материалов при высокочастотном деформировании.
Ю.Г.Безымянный, В.А.Кузьменко, А.Д.Шевчук (Киев). 153

3.23. Использование АЭ при испытании теплоизоляционного материала.
В.С.Фетисов, Б.В.Ващенков, И.В.Гулевский, В.А.Локшин (Обнинск). 155

3.24. Исследование процесса твердения бетона на основе данных АЭ.
Г.Б.Муравин, А.Ф.Шуров, Т.С.Павловская (Москва). 156

3.25. Эффект Кайзера и восстановление структурной целостности бетона.
В.В.Гурьев, К.Л.Ковлер, Г.Б.Муравин, А.Ф.Шуров (Москва). 158

3.26. Использование методов АЭ, ультразвукового и тензометрического для изучения кинетики микротрещинообразования бетона при ступенчато-циклическом нагружении.
К.Л.Ковлер (Москва). 160

3.27. АЭ контроль термостойкости керамических образцов.
А.И.Андрианов, В.Г.Баранов, Ю.Г.Годин, Ю.В.Сидорин (Москва) 162

3.28. Применение АЭ для изучения процессов деструкции при высоких температурах.
Г.А.Фокин (Иваново). 164

3.29. АЭ аппаратура для контроля прочности фарфоровых изоляторов.
Ю.Л.Ароштам, Г.В.Подольский, В.О.Фрейеров (Москва). 166

4. АЭ горных пород и выработок.

4.1. Применение метода АЭ при моделировании крупных разломов земной коры и литосферы.
В.А.Трусков, С.И.Шерман, (Иркутск). 168

4.2. АЭ при хрупком разрушении горных пород.
И.Т.Айтматов, В.А.Мансуров (Фрунзе). 170

4.3. Выявление методом АЭ кооперативных явлений при разрушении горных пород.
В.С.Куксенко, В.А.Мансуров, Б.Щ.Манжиков, В.А.Пикулин (Ленинград). 171

4.4. Связь АЭ-ых и деформационных характеристик горных пород.
Б.Щ.Манжиков, Л.Ж.Горобец, (Днепропетровск). 172

4.5. Система наблюдения за изменением параметров сигналов АЭ с целью непрерывного контроля и оценки степени удароопасности участков массива горных пород.
И.М.Петухов, В.М.Проскуряков, И.Т.Айтматов, Н.Т.Попов (Ленинград). 173

4.6. Использование АЭ для оценки состояния угольного пласта и прогноза опасности динамических явлений.
М.С.Анцыферов (Москва). 175

4.7. Исследование сигналов АЭ, предваряющих и сопровождающих динамические явления в угольных шахтах.
А.Г.Константинова (Москва). I77

4.8. АЭ угольных пластов Донбасса.
Н.К.Иванов-Шиц, Н.Г.Анцыферова, Т.И.Красильникова, Л.С.Тучкова.(Москва) I79

4.9. Автоматическое распознавание импульсов АЭ на фоне производственных шумов в угольных забоях Донбасса.
Г.М.Иванова, Кравец А.И. (Донецк). I8I

Подписано к печати 7.08.I984г.
Печатных листов I2.Учётно-издательских листов I0,5.
Тираж - 400 экз.

ПК-2029I Тип.РВВКИУ РВ,I984г. Заказ № 1155