

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2270444

**СПОСОБ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет" (ГОУ "СПбГПУ") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2004118473

Приоритет изобретения 18 июня 2004 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 февраля 2006 г.

Срок действия патента истекает 18 июня 2024 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004118473/28, 18.06.2004

(24) Дата начала действия патента: 18.06.2004

(45) Опубликовано: 20.02.2006 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1425536 A1, 23.09.1988. SU 1142768 A, 28.02.1985. RU 2226272 C2, 27.03.2004. JP 10090235 A, 10.04.1998. US 4107981 A, 22.08.1978. US 4004456 A, 25.01.1977.

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, ул.
Политехническая, 29, ГОУ "СПбГПУ", патентный
отдел

(72) Автор(ы):

Носов Виктор Владимирович (RU),
Михайлов Юрий Клавдиевич (RU),
Базаров Дмитрий Анатольевич (RU),
Бураков Игорь Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(ли):

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет" (ГОУ "СПбГПУ")
(RU)

(54) СПОСОБ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

(57) Реферат:

Использование: для неразрушающего контроля прочности изделий. Сущность: заключается в том, что в процессе неразрушающего контроля прочности изделий равномерно или ступенчато равномерно нагружают изделие и регистрируют число импульсов акустической эмиссии и их амплитуды в процессе нагружения, при этом дополнительно определяют суммарную амплитуду ζ импульсов АЭ, определяют отношение логарифмов суммарных амплитуд в заданные моменты времени t_i , t_j , определяют закон

распределения числа импульсов АЭ по амплитудам с одновременным определением номинальных напряжений σ_i , σ_j в контролируемой зоне изделия в моменты времени t_i , t_j соответственно, по результатам испытаний определяют параметр состояния материала контролируемого изделия Y_{AE} по математической формуле. Технический результат: повышение точности результатов акустико-эмиссионного контроля изделия, определение четкой классификации степени опасности источников импульсов АЭ.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01N 29/14 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2004118473/28, 18.06.2004**

(24) Effective date for property rights: **18.06.2004**

(45) Date of publication: **20.02.2006 Bull. 5**

Mail address:

**195251, Sankt-Peterburg, ul.
Politehnicheskaja, 29, GOU "SPbGPU",
patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Nosov Viktor Vladimirovich (RU),
Mikhajlov Jurij Klavdievich (RU),
Bazarov Dmitrij Anatol'evich (RU),
Burakov Igor' Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj
politehnicheskij universitet" (GOU
"SPbGPU") (RU)**

(54) MODE OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF DURABILITY OF PRODUCTS

(57) Abstract:

FIELD: the invention is designed for non-destructive control of durability of products.

SUBSTANCE: the essence is in that in the process of non-destructive control of durability of products the product is evenly or in discrete steps evenly loaded and the number of impulses of acoustic emission and their amplitudes are registered in the processes of loading. At that the summary amplitude ζ of impulses of acoustic emission is additionally determined, the relation of logarithms of the summary amplitudes are determined in specified moments of time t_i, t_j , the law of distribution of the number of impulses of

acoustical emission along the amplitudes is determined with simultaneous determination of nominal voltages σ_i, σ_j in the controlled zone of the product in the moments of time t_i, t_j correspondingly. According to the results of the tests the parameters of condition of the material of the controlled product Y_{AE} according to the mathematical formula.

EFFECT: increases accuracy of results of acoustic-emissive control of the product, determination of distinct classification of the degree of the danger of sources of impulses of acoustical emission.

RU 2 270 444 C1

RU 2 270 444 C1

Изобретение относится к акустическим методам неразрушающего контроля прочности и предназначено для оценки прочности испытуемых изделий. Изобретение носит универсальный характер и может применяться для изделий различных размеров и конструкции, а также выполненных из различных конструкционных материалов.

Известен способ неразрушающей оценки прочности композитных материалов и изделий из них (Носов В.В., Носов С.В. Акустико-эмиссионный критерий прочности композитных материалов // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - № 9, с.25-29; Петров В.А., Башкарев А.Я., Носов В. В. Прогнозирование методом акустической эмиссии работоспособности металлополимерных деталей машин // Механика композитных материалов, 1989, № 2, с.354-361.), включающий равномерное нагружение диагностируемого изделия, регистрацию при этом числа N_{Σ} импульсов акустической эмиссии (АЭ) и прекращение нагружения в момент выхода временной зависимости натурального логарифма $\ln N_{\Sigma}$ числа импульсов АЭ на прямолинейный участок, определение углового коэффициента $\ln N_{\Sigma}' = d \ln N_{\Sigma} / dt$ (тангенса угла наклона) этого участка и расчет по его значению разрушающей нагрузки на изделие по следующей формуле:

$$F_p = F' \cdot \left[U_0 / (K \cdot T) - 34,35 + \ln N_{\Sigma}' \right] / \ln N_{\Sigma}' \quad (1)$$

где U_0 - энергия активации процесса разрушения материала конструкции /справочное/;

K - постоянная Больцмана;

T - абсолютная температура;

F' - скорость роста нагрузки на конструкцию во время испытаний.

Недостатком этого способа являются его ограниченные возможности, связанные с тем, что допускаемые в ходе диагностики нагрузки на изделие могут оказаться недостаточными для реализации способа.

Наиболее близким к предлагаемому является способ неразрушающей оценки прочности корпусов двигателей, выполненных из композитных материалов (Носов В.В., Потапов А.И. Оценка прочности корпусных изделий при их гидроиспытаниях по результатам регистрации сигналов акустической эмиссии // Дефектоскопия - 1998, №5, с.99-107), включающий ступенчатое гидронагружение корпуса путем непрерывного подъема давления в корпусе до уровня F_1 , выдержка в течение времени t_1 , подъем давления до второго уровня F_2 , выдержка в течение времени t_2 и так далее до заданного максимального уровня давления. В ходе испытаний проводится регистрация числа N_{Σ} импульсов АЭ. По результатам АЭ испытаний строятся графики временных зависимостей числа импульсов АЭ при различных уровнях давления, в которых выделяли участки, близкие к прямолинейным, определяли угловые коэффициенты $N_{\Sigma i}'$ и $N_{\Sigma j}'$ этих участков. Определяли параметр состояния материала диагностируемого изделия Y_{AE} по формуле:

$$Y_{AE} = \ln(N_{\Sigma j}' / N_{\Sigma i}') / \left[k \cdot (F_j - F_i) \right] \quad (2)$$

и рассчитывается величина разрушающей нагрузки F_p по формуле:

$$F_p = \left[M + \ln(k \cdot Y_{AE}) \right] / \left[k \cdot Y_{AE} \right] \quad (3)$$

где i, j - номера уровней выдержки под постоянной нагрузкой;

F_i, F_j - уровни нагрузки соответственно на i и j уровнях выдержки;

k - коэффициент пропорциональности между нагрузкой F и средними напряжениями в конструкции;

M - константа материала конструкции и условий ее нагружения принимается из расчета по формуле:

$$M = U_0 / (K \cdot T) - 34,35 + \ln(F'). \quad (4)$$

где U_0 - энергия активации процесса разрушения материала конструкции /справочное/;

K - постоянная Больцмана;

T - абсолютная температура;

F' - скорость роста нагрузки на конструкцию во время испытаний.

Значение разрушающей нагрузки F_p сравнивается с рабочей нагрузкой на

диагностируемое изделие. На основе этого сравнения делается вывод о состоянии диагностируемого изделия.

Недостатками данного способа являются:

- отсутствие учета нестабильности распределения амплитуд импульсов АЭ, получаемых в ходе испытаний изделия, что приводит к снижению точности результатов контроля изделия;
- отсутствие четкой классификации степени опасности выявленных в ходе контроля источников импульсов АЭ;
- ограниченные возможности, связанные с необходимостью создания ступенчатой равномерной нагрузки на контролируемое изделие.

Задачей заявляемого изобретения является повышение точности результатов акустико-эмиссионного контроля изделия, определение четкой классификации степени опасности источников импульсов АЭ и расширение возможностей способа.

Технический результат, достигаемый в процессе решения поставленной задачи, состоит в получении следующих возможностей:

- возможность получения более точных результатов контроля изделия путем учета нестабильности распределения амплитуд импульсов АЭ;
- возможность четкого определения классов опасности, выявленных в ходе контроля источников импульсов АЭ,
- возможность использования при контроле равномерно растущей нагрузки или ступенчато равномерно растущей нагрузки.

В предлагаемом способе для учета распределения амплитуд импульсов АЭ, в ходе испытаний изделия дополнительно проводят регистрацию амплитуд импульсов АЭ.

Технический результат достигается тем, что при расчете параметра состояния материала контролируемого изделия Y_{AE} дополнительно определяют информативный параметр ζ (число импульсов, активность, суммарный счет, скорость счета или суммарную амплитуду импульсов АЭ), определяют отношение логарифмов суммарных амплитуд в заданные моменты времени t_i, t_j , определяют закон распределения числа импульсов АЭ по амплитудам с одновременным определением номинальных напряжений σ_i, σ_j в контролируемой зоне изделия в моменты времени t_i, t_j соответственно, учитывается соотношение акустико-эмиссионных коэффициентов k_{AEi}/k_{AEj} , а также для классификации степени опасности источников импульсов АЭ вводится диагностический параметр Y_R .

Введение при расчете параметра состояния материала контролируемого изделия Y_{AE} соотношения акустико-эмиссионных коэффициентов k_{AEi}/k_{AEj} позволяет повысить точность контроля изделия за счет учета нестабильности распределения амплитуд импульсов АЭ. Введение при расчете Y_{AE} информативного параметра ζ , позволяет повысить информативность параметра Y_{AE} и расширить возможности способа.

Способ реализуется следующим способом. Изделие нагружается равномерно растущей нагрузкой или ступенчато равномерно растущей нагрузкой с выдержкой на каждой ступени. Заявляемый способ не предъявляет особых требований к виду нагрузки. Изделие может нагружаться растягивающими нагрузками, изгибными и крутящими моментами, давлением и сочетаниями указанных видов нагрузок. Максимальная нагрузка, достигаемая в ходе диагностирования, может быть значительно ниже разрушающей. В ходе нагружения и выдержки изделия при помощи специальной измерительной аппаратуры проводят регистрацию числа импульсов АЭ и их амплитуд. Калибровка аппаратуры для регистрации импульсов АЭ перед проведением контроля не требуется.

После проведения регистрации импульсов АЭ определяют значение параметра состояния материала диагностируемого изделия Y_{AE} по следующей формуле:

$$Y_{AE} = \left[\ln(\zeta_j / \zeta_i) + \ln(k_{AEi} / k_{AEj}) \right] / [\sigma_j - \sigma_i], \quad (5)$$

где σ_i, σ_j - напряжения, действующие в контролируемой зоне изделия в i и j моменты времени соответственно;

ζ_i, ζ_j - значения информативного параметра при напряжениях σ_i и σ_j соответственно;

k_{AEi} , k_{AEj} - акустико-эмиссионные коэффициенты при напряжениях σ_i и σ_j соответственно.

При равномерном ступенчатом нагружении контролируемого изделия в качестве значений σ_i и σ_j можно принимать значения, соответствующие различным уровням выдержки изделия под постоянной нагрузкой.

5 В качестве информативного параметра ζ может использоваться число импульсов, активность, суммарный счет, скорость счета или суммарную амплитуду импульсов АЭ суммарная амплитуда импульсов АЭ.

Отношение k_{AEi}/k_{AEj} определяется в зависимости от выбранного закона распределения амплитуд импульсов АЭ по следующим формулам:

10 - для равновероятностного распределения амплитуд импульсов АЭ:

$$\left(k_{AEi} / k_{AEj} \right) = \left(u_{cpi} / u_{cpj} \right) \quad (6)$$

- для показательного распределения амплитуд импульсов АЭ:

15
$$\left(k_{AEi} / k_{AEj} \right) = \left(u_{cpi}^{m-1} / u_{cpj}^{m-1} \right) \quad (7)$$

- для экспоненциального распределения импульсов АЭ:

$$\left(k_{AEi} / k_{AEj} \right) = \exp \left[\left(U^H / u_{cpi} \right) - \left(U^H / u_{cpj} \right) \right] \quad (8)$$

где u_{cpi} , u_{cpj} - средние амплитуды импульсов АЭ при напряжениях σ_i и σ_j соответственно;

20 m - параметр показательного распределения;

U^H - нижний порог дискриминации измерительной аппаратуры.

Для определения класса опасности, выявленного в контролируемом объекте источника импульсов АЭ, определяют диагностический параметр Y_R :

$$Y_R = M / \sigma_B \quad (9)$$

25 где σ_B - предел прочности (временное сопротивление) материала контролируемого изделия /справочное/;

M - константа материала конструкции и условий ее нагружения, определяется по справочным данным или результатам разрушающих АЭ-испытаний эталонных (бездефектных) образцов и следующей формуле:

30
$$M = U_0 (K \cdot T) - 34,35 + \ln(\sigma' Y_{AE}) =$$

$$= \frac{\sum_{N_A} Y_{AEi} \sigma_{ei}}{N_A} \quad (4)$$

35 где U_0 - энергия активации процесса разрушения материала конструкции /справочное/;

K - постоянная Больцмана;

T - абсолютная температура;

σ' - скорость роста напряжений в контролируемой зоне изделия или эталонного образца во время АЭ-испытаний,

40 n_i - количество испытаний, Y_{AEi} , σ_{Bi} - значения параметра состояния и предела прочности образца соответственно.

Если $Y_{AE} < 0$, то источник импульсов АЭ классифицируется как неактивный, дефект признается неопасным, состояние изделия работоспособным. При $0 \leq Y_{AE} < Y_R$ источник импульсов АЭ классифицируется как активный, дефект признается неопасным, состояние изделия работоспособным. При $Y_{AE} \geq Y_R$ источник импульсов АЭ классифицируется как критически активный, дефект признается опасным, состояние изделия неработоспособным. При $Y_{AE} \gg Y_R$ источник импульсов АЭ классифицируется как катастрофически активный, дефект признается опасным, состояние изделия опасным.

Пример реализации способа

50 Проверка разработанного способа для стальных конструкций, содержащих сварные соединения, проводилась на основе экспериментов по регистрации АЭ во время равномерного и ступенчатого равномерного нагружения сварных образцов. Образцы представляли собой сваренные встык стальные пластины, выполненные из листового проката, материал пластин - СтЗпс, сварка ручная электродами Э46А марки УОНИ-13/45Ф-

4,0-УД ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75, ТУ 1272-014-11142306-97 и автоматическая, выполненная в среде углекислого газа с применением проволоки СВ-08Г2С.

Образцы равномерно нагружались равномерно растущей растягивающей нагрузкой и ступенчатой равномерной растущей растягивающей нагрузкой с выдержкой на каждой ступени в течение 5 минут. Нагружение образцов проводилось до их разрушения. В ходе нагружения и выдержки изделия при помощи специальной измерительной аппаратуры проводилась регистрация числа и амплитуд импульсов АЭ.

Для регистрации импульсов АЭ использовалась двухканальная измерительная акустико-эмиссионная система (ИАЭС) с рабочим частотным диапазоном 20-1000 кГц, эффективным значением напряжений собственных шумов усилительного тракта, приведенным ко входу предварительного усилителя не более 5 мкВ, точностью определения времени прихода сигнала АЭ 0,8 мкс, программируемым коэффициентом усиления основного усилителя (от минус 20 до 40 дБ) и предварительным усилением 34 дБ, диапазоном измерения максимальной амплитуды сигнала от 20 до 134 дБ с точностью ± 1 дБ, максимальным количеством регистрируемых каждым каналом за одну секунду сигналов АЭ 1500. Нижний уровень порога дискриминации системы определялся необходимостью устранения электромагнитных помех и составлял 47 дБ на каждом канале, время блокировки составляло 48000 мкс. Упругая волна регистрировалась пьезоэлектрическими приемниками АЭ, сигналы из которых усиливались предварительным усилителем и поступали на блок анализа. Отсюда ряд цифровых параметров, характеризующих поступающие из предварительного усилителя сигналы, передавались по интерфейсу CAN2.0В в компьютер PENTIUM1. Активный элемент приемников АЭ с частотным диапазоном 20-200 кГц изготавливался из пьезокерамики ЦТС-19. Предварительная калибровка аппаратуры не производилась.

В качестве информативного параметра ζ использовали активность АЭ N_{Σ}^t (может быть использовано число импульсов, суммарный счет, скорость счета или суммарная амплитуда импульсов АЭ). Определяли значение параметра состояния материала диагностируемого изделия Y_{AE} по формуле:

$$Y_{AE} = \left[\ln(N_{\Sigma j}^t / N_{\Sigma i}^t) + \ln(k_{AEi} / k_{AEj}) \right] / [\sigma_j - \sigma_i] \quad (10)$$

где σ_i, σ_j - напряжения, действующие в контролируемой зоне изделия в t_i и t_j моменты времени соответственно;

k_{AEi}, k_{AEj} - акустико-эмиссионные коэффициенты, их отношение k_{AEi}/k_{AEj} определяли по следующей формуле:

$$\left(k_{AEi} / k_{AEj} \right) = \left(u_{cpi} / u_{cpj} \right) \quad (11)$$

где u_{cpi}, u_{cpj} - средние амплитуды импульсов АЭ при напряжениях σ_i и σ_j соответственно.

Введение при расчете параметра состояния материала контролируемого изделия Y_{AE} соотношения акустико-эмиссионных коэффициентов k_{AEi}/k_{AEj} позволяет повысить точность контроля изделия за счет учета нестабильности распределения амплитуд импульсов АЭ. Посредством учета нестабильности закона распределения амплитуд импульсов АЭ корректируются различия в условиях АЭ-наблюдений за процессом микро-трещинообразования, что снижает погрешность и повышает точность неразрушающей оценки. Деление на разницу номинальных напряжений нормирует результаты расчета и позволяет сравнить его результат со стандартными характеристиками прочности.

При ступенчатом равномерном нагружении образца в качестве значений σ_i и σ_j принимали значения, соответствующие различным уровням выдержки изделия под постоянной нагрузкой.

Рассчитывали величину диагностического параметра Y_R , который для стали определяли по следующей формуле:

$$Y_R \approx 5,5 / \sigma_B \quad (11)$$

где σ_B - предел прочности (временное сопротивление) материала образца.

Рассчитанные по результатам опытов классы опасности источников импульсов АЭ оказались достоверными. Коэффициент корреляции между полезной площадью образца и параметром состояния Y_{AE} составил 0,715, что говорит о высокой степени информативности данного параметра.

5

Формула изобретения

Способ неразрушающего контроля прочности изделий, в процессе которого равномерно или ступенчато равномерно нагружают изделие и регистрируют число импульсов акустической эмиссии и их амплитуды в процессе нагружения, отличающийся тем, что
10 дополнительно определяют суммарную амплитуду ζ , импульсов АЭ, определяют отношение логарифмов суммарных амплитуд в заданные моменты времени t_i, t_j , определяют закон распределения числа импульсов АЭ по амплитудам с одновременным определением номинальных напряжений σ_i, σ_j в контролируемой зоне изделия в моменты времени t_i, t_j соответственно, по результатам испытаний определяют параметр состояния
15 материала контролируемого изделия Y_{AE} по формуле:

$$Y_{AE} = [\ln(\zeta_j/\zeta_i + \ln(k_{AEi}/k_{AEj}))] / [\sigma_j - \sigma_i],$$

и рассчитывают величину диагностического параметра Y_R по формуле:

$$Y_R = M / \sigma_B,$$

где σ_i, σ_j - напряжения, действующие в контролируемой зоне изделия в i и j моменты
20 времени соответственно;

ζ_i, ζ_j - значения суммарной амплитуды при напряжениях σ_i и σ_j соответственно;

k_{AEi}, k_{AEj} - акустико-эмиссионные коэффициенты при

напряжениях σ_i и σ_j соответственно, их отношение определяют в зависимости от
25 выбранного закона распределения амплитуд импульсов АЭ;

σ_B - предел прочности (временное сопротивление) материала контролируемого изделия (справочное);

M - константа материала конструкции и условий ее нагружения, определяют по справочным данным или результатам разрушающих АЭ-испытаний эталонных
30 (бездефектных) образцов,

затем величину Y_{AE} сравнивают с величиной Y_R и определяют степень опасности источника импульсов акустической эмиссии, при $Y_{AE} \geq Y_R$ источник импульсов считают опасным.

35

40

45

50