

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2495413

**СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ИЗДЕЛИЯ В УСЛОВИЯХ
ЧИСТОГО ИЗГИБА**

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ
ВПО "СПбГПУ") (RU)**

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012119656

Приоритет изобретения **12 мая 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **10 октября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **12 мая 2032 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012119656/28, 12.05.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.05.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.05.2012

(45) Опубликовано: 10.10.2013 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2449266 C1, 27.04.2012. RU 2305281 C2, 27.08.2007. RU 2348917 C1, 10.03.2009. SU 1193501 A1, 23.11.1985. JP 10090235 A, 10.04.1998. JP 1284740 A, 16.11.1989. US 4089224 A, 16.05.1978. US 3911734 A, 14.10.1975.

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, ул.
Политехническая, 29, ФГБОУ ВПО
"СПбГПУ", отдел интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

**Мешалкина Надежда Валентиновна (RU),
Никольский Сергей Григорьевич (RU),
Островский Павел Николаевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
(ФГБОУ ВПО "СПбГПУ") (RU)**

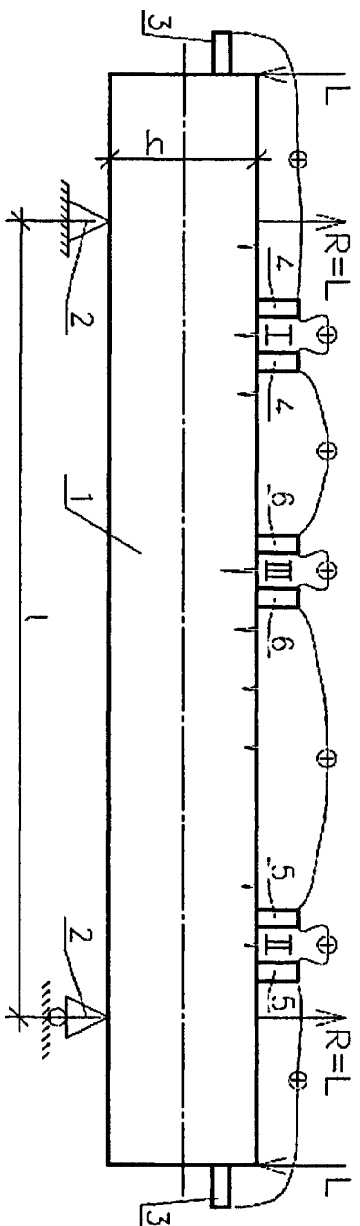
(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ИЗДЕЛИЯ В УСЛОВИЯХ ЧИСТОГО ИЗГИБА

(57) Реферат:

Использование: для контроля прочности железобетонного изделия в условиях чистого изгиба. Сущность: заключается в том, что изделие циклически нагружают от нуля с постепенно возрастающей амплитудой до появления сигналов акустической эмиссии перед окончанием разгрузки, и по среднему для максимальных нагрузок двух последних циклов судят о максимальной неразрушающей нагрузке изделия, причем при появлении сигналов акустической эмиссии перед окончанием разгрузки определяют координаты ее источника (дефекта),

амплитуды и нагрузки возникновения этих сигналов, после чего продолжают циклическое нагружение с повышением амплитуды, после каждого разгрузки определяют координаты новых источников сигналов акустической эмиссии, амплитуды и нагрузки возникновения сигналов, контролируют изменение амплитуды и нагрузки возникновения сигналов для каждого источника от цикла к циклу, а при их возрастании у одного из источников прекращают нагружения. Технический результат: повышение точности определения максимальной неразрушающей нагрузки для изделий в условиях чистого изгиба. 1 ил.

R U 2 4 9 5 4 1 3 C 1



R U 2 4 9 5 4 1 3 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01N 29/14 (2006.01)
G01N 3/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012119656/28, 12.05.2012

(24) Effective date for property rights:
12.05.2012

Priority:

(22) Date of filing: 12.05.2012

(45) Date of publication: 10.10.2013 Bull. 28

Mail address:

195251, Sankt-Peterburg, ul. Politekhnikeskaja,
29, FGBOU VPO "SPbGPU", otdel intellektual'noj
sobstvennosti

(72) Inventor(s):

**Meshalkina Nadezhda Valentinovna (RU),
Nicol'skij Sergej Grigor'evich (RU),
Ostrovskij Pavel Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE
BJuDZhetNOE OBRAZOVATEL'NOE
UChREZhDENIE VYSShEGO
PROFESSIONAL'NOGO OBRAZOVANIJa
"SANKT-PETERBURGSKIJ
GOSUDARSTVENNYJ POLITEKHNICHESKIJ
UNIVERSITET" (FGBOU VPO "SPbGPU")
(RU)**

(54) **METHOD TO MONITOR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE ITEM UNDER CONDITIONS OF SIMPLE BENDING**

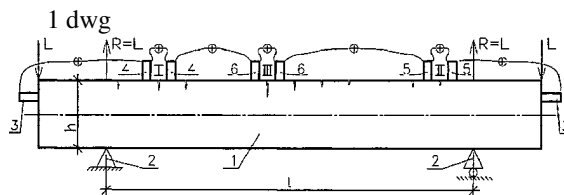
(57) Abstract:

FIELD: construction.

SUBSTANCE: item is cyclically loaded from zero with gradually increasing amplitude to occurrence of signals of acoustic emission prior to completion of unloading, and using the average for maximum loads of two last cycles, the maximum nondestructive load of the item is assessed, besides, if signals of acoustic emission occur before completion of unloading, the coordinates of its source (defect) are determined, as well as amplitudes and loads of occurrence of these signals, afterwards cyclic loading is continued with increase of amplitude, after each unloading the coordinates of

new sources of signals of acoustic emission are determined, as well as amplitudes and loads of signal occurrence, variation of the amplitude and load of signal occurrence is monitored for each source from a cycle to a cycle, and if they increase in one of the sources, loading is stopped.

EFFECT: increased accuracy of determination of maximum nondestructive load for items under conditions of simple bending.



RU 2 4 9 5 4 1 3 C 1

RU 2 4 9 5 4 1 3 C 1

Изобретение относится к методам неразрушающего контроля длительной стойкости железобетонного изделия в условиях чистого изгиба, и может быть использовано для определения максимальной неразрушающей (пороговой) нагрузки. Данное изобретение может быть использовано в строительстве: как перед
5 эксплуатацией изделия, так и во время его эксплуатации.

Известен способ контроля прочности изделий из хрупкого материала с помощью акустической эмиссии [SU 879444, МПК G01N 29/04, опубл. 07.11.81]. Он заключается в том, что нагружают изделие, принимают сигналы акустической эмиссии (АЭ), по
10 которым определяют величину напряжения, соответствующую пределу прочности материала.

Недостатком этого способа является деградация прочности из-за превышения неразрушающей (пороговой) нагрузки.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является способ [RU 2305281 C2, МПК G01N 29/14, опубл. 27.08.2007], заключающийся в том, что изделие циклически нагружают от нуля с постепенно возрастающей амплитудой до появления сигналов акустической эмиссии при разгрузке и регистрируют максимальную
15 нагрузку последних циклов, по которой судят о максимальной неразрушающей нагрузке, без превышения которой опасный дефект не развивается, а следовательно, нет деградации прочности. Максимальную нагрузку цикла увеличивают до появления акустической эмиссии перед окончанием разгрузки, когда остается 20-10% от
20 максимальной нагрузки проведенного цикла, и по среднему для максимальных нагрузок двух последних циклов судят о максимальной неразрушающей нагрузке
25 изделия.

Недостатком прототипа является возможность использования его только в тех случаях, когда прочность изделия определяется развитием дефекта, который начал развиваться раньше остальных. Для изделий в условиях чистого изгиба дефект,
30 который начал развиваться раньше остальных, не всегда приводит к разрушению изделия. То есть при использовании способа-прототипа происходит занижение максимальной неразрушающей нагрузки для изделий в условиях чистого изгиба.

Техническая задача изобретения - повышение точности определения максимальной неразрушающей нагрузки для изделий в условиях чистого изгиба.

Решение задачи достигают тем, что, как и в прототипе, изделие циклически нагружают от нуля с постепенно возрастающей амплитудой до появления сигналов акустической эмиссии перед окончанием разгрузки. И по среднему для
35 максимальных нагрузок двух последних циклов судят о максимальной неразрушающей нагрузке изделия. В отличие от прототипа, при появлении сигналов акустической эмиссии перед окончанием разгрузки определяют координаты ее источника (дефекта), амплитуды и нагрузки возникновения сигналов, после чего продолжают циклическое нагружение с повышением амплитуды. После каждого
40 разгрузки определяют координаты новых источников сигналов акустической эмиссии, замеряют амплитуды и нагрузки возникновения сигналов. Прекращают нагружение при возрастании амплитуды и нагрузки возникновения сигналов акустической эмиссии хотя бы у одного источника.

Физическая сущность явления заключается в том, что у развивающегося при нагружении дефекта сигналы АЭ наблюдаются в начале разгрузки и при его
50 завершении. У дефекта, остановившегося в развитии, при окончании разгрузки от цикла к циклу амплитуды и нагрузки возникновения сигналов акустической эмиссии уменьшаются, по-видимому, из-за притирания рельефа поверхностей в вершине

дефекта, трение которых и вызывает акустическую эмиссию при окончании разгрузки. У дефекта, остановившегося в своем развитии, но готовящегося к новому росту сдвигом, при окончании разгрузки амплитуды и нагрузки возникновения сигналов акустической эмиссии (АЭ) увеличиваются из-за
5 дополнительного смещения рельефа поверхностей микропластическими деформациями, предшествующими новому росту. В силу этого замер после каждого цикла для каждого из ранее определенных при разгрузке источников сигналов АЭ их амплитуд и нагрузок возникновения дает возможность вовремя прекратить
10 контроль, не доводя хотя бы один из дефектов до повторного развития, т.е. без деградации прочности изделия, но и без занижения максимальной неразрушающей нагрузки.

На фигуре приведена схема расположения акустических датчиков в частном случае реализации способа контроля прочности железобетонной балки и приняты следующие
15 обозначения: 1 - балка; 2 - опоры; 3 - граничные датчики с выходом на один канал; 4, 5, 6 - датчики с двумя выходами на разные каналы; Φ - входы каналов акусто-эмиссионной системы; I, II, III - номера трещин в порядке их появления; L - нагрузка; R=L - реакция.

Способ осуществляется следующим образом. На торцы балки 1 перед первым
20 нагружением устанавливают датчики 3, подключенные к акусто-эмиссионной системе. Настраивают каналы акусто-эмиссионной системы на "Ограничение зоны контроля" от посторонних сигналов, например, следующим образом. Иницируют АЭ, например, царапанием изделия у одного из датчиков 3, тогда канал акусто-эмиссионной системы определяет время прихода этого сигнала к другому датчику 3
25 (на границе), или время запаздывания. Это время запаздывания вводят в память канала и настраивают канал на автоматический сброс всех акустических сигналов, у которых разница времен прихода на граничные датчики 3 больше времени запаздывания. При этом канал автоматически выдает координату источника сигнала
30 акустической эмиссии по прямой между граничными датчиками 3. Циклически нагружают балку 1 с постепенным увеличением нагрузки, располагая нагрузку, так же как и при эксплуатации балки в условиях чистого изгиба. При появлении сигналов акустической эмиссии (АЭ) перед окончанием разгрузки определяют координаты
35 дефекта. По определенным координатам источника I сигналов АЭ устанавливают дополнительные датчики 4 по разные стороны от источника с дополнительными каналами, подключенными к акусто-эмиссионной системе. Продолжают циклическое нагружение изделия с увеличением амплитуды, то есть максимальной нагрузки. Контролируют изменение сигналов АЭ перед окончанием разгрузки отдельно в
40 каждой зоне между датчиками 3-4 и 4-3 и определяют координаты новых развивающихся дефектов, например II, измеряют амплитуды и нагрузки возникновения этих сигналов АЭ, а также в зоне 4-4 от источника I измеряют амплитуды и нагрузки возникновения сигналов АЭ. По определенным координатам
45 источника II сигналов АЭ устанавливают дополнительные датчики 5 по разные стороны от источника с дополнительными каналами, подключенными к акусто-эмиссионной системе. Продолжают циклическое нагружение изделия. Контролируют изменение сигналов АЭ перед окончанием разгрузки отдельно в каждой зоне
50 между датчиками 3-4; 4-5; 5-3 и определяют координаты развивающихся дефектов, например III, измеряют амплитуды и нагрузки возникновения этих сигналов АЭ, а также в зонах 4-4 и 5-5 от источника I и II измеряют амплитуды и нагрузки возникновения сигналов АЭ. По определенным координатам источника III сигналов

АЭ устанавливают дополнительные датчики 6 по разные стороны от источника с дополнительными каналами, подключенными к акусто-эмиссионной системе.

Продолжают циклическое нагружение изделия. Контролируют изменение сигналов АЭ перед окончанием разгрузки раздельно в каждой зоне между датчиками 3-4; 4-6; 6-5; 5-3 и определяют координаты развивающихся дефектов, замеряют амплитуды и нагрузки возникновения этих сигналов АЭ, а также в зонах 4-4; 5-5; 6-6 от источника I, II и III замеряют амплитуды и нагрузки возникновения сигналов АЭ. Циклическое нагружение прекращают, если хотя бы для одного из определенных источников I, II, III сигналов АЭ перед окончанием разгрузки нагрузка ее возникновения и амплитуда увеличивается. По среднему для максимальных нагрузок двух последних циклов судят о максимальной неразрушающей нагрузке изделия.

Рассмотрим пример реализации способа.

Для проверки способа из смеси портландцемента (1 весовая часть), песка (3 весовые части) и воды (0,5 весовой части), а также стальной проволоки диаметром 5 мм изготовили 20 железобетонных балок длиной 700 мм прямоугольного сечения с высотой $h=60$ мм и шириной 40 мм. Куски стальной проволоки (3 штуки) длиной 700 мм укладывали параллельно ребрам фермы-опалубки на расстоянии 5 мм от днища фермы. Распалубку проводили после 10 дней хранения заполненных ферм под водой при $(20\pm 4)^\circ\text{C}$. До начала испытаний все балки хранили во влажных опилках под полиэтиленом не менее 600 дней. Испытания каждой балки начинали с определения максимальной неразрушающей нагрузки в условиях чистого изгиба с $l=250$ мм (см. фигуру).

На торцы балки 1 перед первым нагружением устанавливали датчики 3, подключенные к акусто-эмиссионной системе для определения координаты дефекта, развивающегося первым. Настраивали каналы акусто-эмиссионной системы на "Ограничение зоны контроля". Для регистрации акустической эмиссии (АЭ) использовали шесть двухканальных приборов АФ-15 Кишиневского завода, что позволяло контролировать изменение развития трех первых дефектов. Изделие циклически нагружали, начав с максимальной нагрузки цикла 30 кгс и с повышением нагрузки от цикла к циклу на 3 кгс. Сигналы АЭ при разгрузке отсутствовали, пока максимальная нагрузка цикла не превысила 96 кгс. При окончании разгрузки с нагрузки в 99 кгс на 24 цикле были зарегистрированы сигналы АЭ, то есть первый дефект (I) начал свое развитие. По способу-прототипу по среднему для максимальных нагрузок двух последних 23 и 24 циклов получили максимальную неразрушающую нагрузку для изделия, равную 97,5 кгс. По заявленному способу координата первого дефекта по оси балки была определена и по данной координате были установлены датчики 4, подключенные к акусто-эмиссионной системе. Продолжали циклическое нагружение изделия, повышая нагрузку. Наблюдали за изменением амплитуды и нагрузки возникновения сигналов АЭ при окончании разгрузки для первого дефекта: они не увеличивались. Второй источник АЭ при разгрузке был зарегистрирован при максимальной нагрузке цикла, равной 144 кгс на 38 цикле. Была определена координата второго дефекта и по ней были установлены датчики 5. Развитие третьего дефекта было зарегистрировано при максимальной нагрузке цикла, равной 153 кгс на 41 цикле. Определив координату третьего дефекта, по ней установили датчики 6, подключенные к акусто-эмиссионной системе. Продолжали циклическое нагружение балки. Наблюдали за изменением амплитуды и нагрузки возникновения сигналов АЭ при окончании разгрузки для каждого из ранее определенных источников АЭ: они не увеличивались. При нагрузке цикла, равной 231

кгс на 67 цикле у второго дефекта (II), начали возрастать амплитуды сигналов акустической эмиссии и нагрузка ее возникновения. Значит, дефект готов продолжать свое развитие. Цикл с максимальной нагрузкой в 231 кгс был повторен, для подтверждения того, что сигнал АЭ регистрируется. Нагружения прекратили. По среднему для максимальной нагрузки двух последних циклов, не считая повторного, была определена максимальная неразрушающая нагрузка 229,5 кгс.

Значение максимальной неразрушающей нагрузки, определенной по способу, описанному в прототипе, меньше полученного значения в 2,35 раза. Поскольку определенная нагрузка заявленным способом к деградации прочности изделия не приводит, значит, точность определения максимальной неразрушающей нагрузки увеличена.

Аналогичные испытания были проведены еще для 19 балок. Чтобы доказать корректность заявленного способа, то есть, что определенная нагрузка и есть максимальная неразрушающая, были проведены дополнительные испытания, результаты которых статистически обработали.

Среднее для максимальных нагрузок двух последних циклов нагружения приняли за максимальную неразрушающую нагрузку и обозначили L_{0I} . Балку, сохраняя схему ее нагружения в условиях чистого изгиба, циклически нагружали 10^7 раз на пульсаторе от нуля до значения нагрузки на 5% ниже определенной максимальной неразрушающей L_{0I} с частотой 50 Гц. Данное нагружение на пульсаторе имитировало работу балки. Определили максимальную неразрушающую нагрузку для каждой балки по заявленной методике, обозначили ее через L_{0II} . Затем балку, сохраняя схему ее нагружения в условиях чистого изгиба, циклически нагружали 10^7 раз на пульсаторе от нуля до значения нагрузки на 5% выше определенной максимальной неразрушающей L_{0I} с частотой 50 Гц. Данное нагружение на пульсаторе имитировало работу балки. Определяли максимальную неразрушающую нагрузку для каждой балки по заявленной методике, обозначили ее через L_{0III} . При статистической обработке результатов эксперимента для каждой балки нашли отношения $z_1 = \frac{L_{0II}}{L_{0I}}$ и

$z_2 = \frac{L_{0III}}{L_{0I}}$. Данные отношения показывают во сколько раз заниженное и завышенное

значения нагрузки по отношению к определенной ранее L_{0I} отличаются от единицы, то есть, каков разброс значения максимальной нагрузки по отношению к L_{0I} .

Рассчитали средние \bar{z}_1 и \bar{z}_2 этих отношений и выборочные дисперсии $S_{z_1}^2$ и $S_{z_2}^2$. При этом оказалось, что отличие $\bar{z}_1 = 1,01$ от 1 случайно, а отличие $\bar{z}_2 = 0,89$ от 1 - значимо.

Следовательно, 10^7 циклов нагружения с максимальной нагрузкой, не превышающей максимальную неразрушающую нагрузку, не снижают максимальную неразрушающую нагрузку, а превышение максимальной неразрушающей нагрузки на 5% уже приводит к накоплению повреждения. Таким образом, доказана корректность заявленного способа.

Предлагаемый способ открывает возможность более точного определения максимальной неразрушающей нагрузки для конкретного железобетонного изделия в условиях чистого изгиба (для балки, внецентренножатой колонны и т.д.) как перед эксплуатацией, так и в процессе эксплуатации.

Формула изобретения

Способ контроля прочности железобетонного изделия в условиях чистого изгиба, заключающийся в том, что изделие циклически нагружают от нуля с постепенно возрастающей амплитудой до появления сигналов акустической эмиссии перед окончанием разгрузки и по среднему для максимальных нагрузок двух последних циклов судят о максимальной неразрушающей нагрузке изделия, отличающийся тем, что при появлении сигналов акустической эмиссии перед окончанием разгрузки определяют координаты ее источника (дефекта), амплитуды и нагрузки возникновения этих сигналов, после чего продолжают циклическое нагружение с повышением амплитуды, после каждого разгрузки определяют координаты новых источников сигналов акустической эмиссии, амплитуды и нагрузки возникновения сигналов, контролируют изменение амплитуды и нагрузки возникновения сигналов для каждого источника от цикла к циклу, а при их возрастании у одного из источников прекращают нагружения.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50