

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033933**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.11

(51) Int. Cl. **G01H 5/00** (2006.01)

(21) Номер заявки
201700524

(22) Дата подачи заявки
2017.11.23

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СКОРОСТЕЙ
ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРОДОЛЬНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В МАТЕРИАЛАХ
ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ И ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

(31) **2016152459**

(56) **RU-C2-2232983**

(32) **2016.12.28**

SU-A1-1308892

(33) **RU**

RU-C1-2185607

(43) **2018.08.31**

SU-A1-1357827

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

JP-A-9218184

US-B1-7237438

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (СПбГУ) (RU)**

(72) Изобретатель:
**Судьенков Юрий Васильевич,
Смирнов Владимир Михайлович (RU)**

(74) Представитель:
**Матвеев А.А., Матвеева Т.И., Леонов
И.Ф. (RU)**

(57) Изобретение относится к области методов неразрушающего контроля материалов и может быть использовано для исследования и контроля физико-механических характеристик материалов и элементов конструкций, их внутренней структуры и изменений геометрических размеров при различных нагрузках. Техническим результатом предлагаемого устройства является повышение информативности оптико-акустического метода исследования и контроля механических и структурных свойств материалов и элементов конструкций как в свободном состоянии, так и под квазистатической или циклической нагрузкой, за счет регистрации не только акустических продольных волн в материале, но и поверхностных волн. Технический результат достигается тем, что в устройство, содержащее импульсно-модулированный лазер, соединенный через оптоволокно с оптико-акустическим преобразователем, а также пьезоприемник, соединенный с аналого-цифровым преобразователем, подключенным к компьютеру, при этом контролируемый объект расположен между оптико-акустическим преобразователем и пьезоприемником, дополнительно включен второй пьезоприемник, который выполнен в виде плоского кольца, совмещенного осесимметрично с оптико-акустическим преобразователем, и соединен с аналого-цифровым преобразователем.

B1

033933

033933

B1

Изобретение относится к области методов неразрушающего контроля материалов и может быть использовано для исследования и контроля физико-механических характеристик материалов и элементов конструкций, их внутренней структуры и изменений геометрических размеров при различных нагрузках.

Известно устройство для исследования образцов с помощью ультразвука [1], содержащее импульсный лазер для получения высокочастотного импульса оптического излучения, оптическое волокно для передачи оптического излучения на образец и пьезоприемник для регистрации ультразвука, который передается в пьезоприемник через акустическую среду. Недостаток этого устройства в том, что оптико-акустическое преобразование осуществляется в образце, а значит, генерируемый акустический сигнал различен для различных материалов и не может быть использован для сравнительного анализа. Более того, сигнал поступающий в пьезоприемник, несет в себе не только информацию о материале образца, но и зависит от свойств и качества связующей акустической среды.

Наиболее близким к предлагаемому устройству является устройство для лазерно-акустического контроля твердых материалов, содержащее импульсно-модулированный лазер, соединенный с оптическим волокном, торец которого направлен на оптико-акустический преобразователь, расположенный над поверхностью исследуемого материала, и пьезоприемник, помещенный с обратной стороны исследуемого материала и соединенный через усилитель и аналого-цифровой преобразователь с компьютером [2].

К недостаткам известного устройства следует отнести получение информации только об продольных акустических волнах, проходящих через образец, что ограничивает возможность контроля упруго-пластических характеристик материала при нагружении образца.

Техническим результатом предлагаемого устройства является повышение информативности оптико-акустического метода исследования и контроля механических и структурных свойств материалов и элементов конструкций как в свободном состоянии, так и под квазистатической или циклической нагрузкой.

Для достижения указанного технического результата в устройстве, содержащем импульсно-модулированный лазер, соединенный через оптоволокно с оптико-акустическим преобразователем, а также пьезоприемник, соединенный с аналого-цифровым преобразователем, подключенным к компьютеру, при этом контролируемый объект расположен между оптико-акустическим преобразователем и пьезоприемником, дополнительно включен второй пьезоприемник, который выполнен в виде плоского кольца, совмещенного осесимметрично с оптико-акустическим преобразователем, и соединен с аналого-цифровым преобразователем.

Сущность изобретения поясняется на фиг. 1-3.

На фиг. 1 приведена схема устройства для определения и контроля скоростей поверхностных и продольных акустических волн в материалах при квазистатических и циклических нагрузках.

На фиг. 2 представлены сигналы от пьезоприемников, регистрирующих акустические импульсы продольной волны (L) и поверхностной волны Рэлея (R) в плоском образце из стали 12X18H10T (OS - импульс акустического воздействия на образец оптико-акустическим преобразователем; RW - сигнал с пьезоприемника в виде кольца (4); LW - сигнал с плоского пьезоприемника (5).

На фиг. 3 приведена зависимость продольной деформации ϵ и коэффициента поперечной деформации ν_{td} от напряжений σ при растяжении плоских образцов титана BT1.

Устройство содержит: 1 - импульсно-модулированный лазер; 2 - оптическое волокно для передачи лазерного излучения в оптико-акустический преобразователь; 3 - оптико-акустический преобразователь для преобразования лазерного импульсного излучения в акустические импульсы и передачи их в исследуемый материал или элемент конструкции; 4 - пьезоприемник в виде пластины для регистрации продольных акустических волн, прошедших через образец; 5 - пьезоприемник в виде плоского кольца для регистрации поверхностных волн; 6 - аналого-цифровой преобразователь для перевода электрического сигнала с пьезоприемников в цифровой сигнал и его передачи в компьютер (7) и контролируемый объект (8).

Работа предлагаемого изобретения осуществляется следующим образом. Импульс лазерного излучения с лазера (1) через оптоволокно (2) поступает в оптико-акустический преобразователь (3), который излучает акустический импульс в контролируемый объект (8). Возбуждаемые в контролируемом объекте (8) акустические волны распространяются вдоль и ортогонально поверхности (по толщине) контролируемого объекта (8) и попадают на пьезоприемники (4) и (5), а их электрические сигналы поступают в аналого-цифровой преобразователь (6), передающий цифровые сигналы в компьютер (7), который их регистрирует.

Контролируемый объект (8) может находиться как в свободном от напряжений и деформации состоянии, так и под действием нагрузки. Например, он может быть зафиксирован в захватах испытательной машины или являться элементом конструкции, несущей нагрузку. Синхронизация компьютера (7) осуществляется по сигналу импульса излучения лазера (1) или от первого импульса с аналого-цифрового преобразователя (6). Скорость поверхностных и продольных акустических волн в контролируемом объекте (8) определяют по времени прихода волны в соответствующий пьезоприемник (4 и 5) и расстоянию до него от места приложения оптико-акустического преобразователя (3).

Заявленное устройство было апробировано в лабораторных условиях Санкт-Петербургского госу-

дарственного университета. В результате экспериментов было подтверждено достижение указанного результата - повышение информативности результатов исследований.

В качестве примера конкретной реализации представленного устройства были проведены механические испытания на плоских образцах из стали 12X18H10T и титана BT1 с размерами рабочей части $50 \times 5 \times 2$ мм на стандартной испытательной машине SHIMADZU AG-X. Образцы подвергались растяжению со скоростью деформации $1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

К образцу с помощью миниатюрной пружинной трубки прижимались два пьезокерамических датчика. С одной стороны образца размещался датчик в виде диска ($\varnothing 10 \times 0.3$ мм) для измерений параметров продольной волны. С противоположной стороны располагался пьезодатчик в виде диска ($\varnothing 10 \times 0.5$ мм) с центральным отверстием диаметром 4 мм для регистрации волн Рэлея.

Лазерное излучение по оптическому волокну ($\varnothing 0.8$ мм) с помощью оптического разъема подводилось к образцу по центру отверстия пьезодатчика, регистрирующего поверхностную волну Рэлея. При такой методике термоупругий точечный источник позволял эффективно возбуждать как поверхностные, так и продольные акустические импульсы. Период следования лазерных импульсов выбирался в зависимости от скорости деформирования в интервале 1-5 с. Регистрация сигналов с датчика осуществлялась осциллографом Lecroy Wave Surfer 64MXs-B. Методика позволяла измерять скорости акустических волн с погрешностью не хуже 0.1%.

На фиг. 2 представлена типичная осциллограмма сигналов от пьезодатчиков, регистрирующих акустические импульсы продольной волны (L) и поверхностной волны Рэлея (R) в стальном образце. Зная расстояние L и время прохода T волны от точки излучения до места регистрации и можно определить скорость распространения волны C

$$C = L/T \quad (1)$$

Таким образом, устройство позволяло одновременно измерять скорости продольных волн и поверхностных волн Рэлея в стандартных испытаниях на растяжение образцов в виде лопаток. Так для стальных образцов они составили $C_{\text{пр}}=5814$ м/с для продольной волны и $C_{\text{R}}=2830$ м/с для волны Рэлея.

Более того, определение скоростей акустических и поверхностных волн в материале позволяет определять упругопластические характеристики материала, например модуль упругости и коэффициента поперечной деформации (коэффициент Пуассона).

Коэффициент поперечной деформации, как известно из механики деформируемого твердого тела [3], в упругой области определяется соотношением скоростей продольных $C_{\text{пр}}$ и поперечных $C_{\text{поп}}$ волн, при этом скорость волн Рэлея C_{R} отличается от $C_{\text{поп}}$ на множитель, значение которого в зависимости от материала лежит в интервале $\delta=0,874-0,955$. В этой связи выражение для коэффициента Пуассона может быть записано в следующем виде:

$$\nu = \frac{C_{\text{пр}}^2 - 2(\delta C_{\text{R}})^2}{2[C_{\text{пр}}^2 - (\delta C_{\text{R}})^2]} \quad (2)$$

Это соотношение строго выполняется в области упругости, но и при пластическом деформировании его применение при известных зависимостях скоростей звука от напряжений достаточно обосновано [4].

На фиг. 3 приведены зависимости коэффициента поперечной деформации ν_{id} при растяжении образцов титана BT1. Отметим при этом, что начальные значения ν_{id} были получены из значений скоростей упругих волн в исходных образцах и совпадали с табличными.

Как видно из чертежа, изменение коэффициента поперечной деформации имеет немонотонный характер. Наблюдается его небольшое снижение в области упругости, которое сменяется существенным уменьшением в области упрочнения, и дальнейшее значительное возрастание в области развитого пластического течения. Подобное поведение коэффициента поперечной деформации наблюдалось для всех исследованных металлов и для разных скоростей деформации. Существенное уменьшение коэффициента поперечной деформации наблюдается на стадии упрочнения, характеризующей интенсивными процессами структурных преобразований, формированием и эволюцией пространственных распределений дислокационных субструктур (дислокационных клубков и ячеек и т.д.).

Таким образом, устройство позволяет определять не только скорости акустических и поперечных волн, но и определять степень напряжений и деформаций в материале, а также косвенную информацию о структурных перестройках в материале при воздействии на него квазистатических и циклических нагрузок.

Результаты испытаний показали, что заявленное устройство для определения и контроля скоростей поверхностных и продольных акустических волн в материалах при квазистатических и циклических нагрузках позволяет получать профиль волн в одном эксперименте, что существенно повышает его информативность и делает процесс определения физико-механических параметров материалов и элементов конструкции более мобильным.

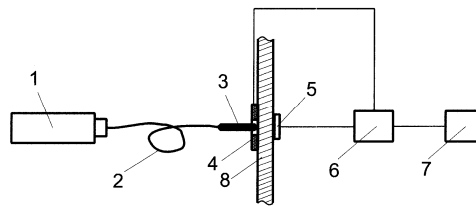
Представленное изобретение может быть применено в материаловедении или инженерной практике для исследования и неразрушающего контроля физико-механических параметров материалов и элементов конструкций при квазистатической и циклической нагрузке.

Список используемой литературы

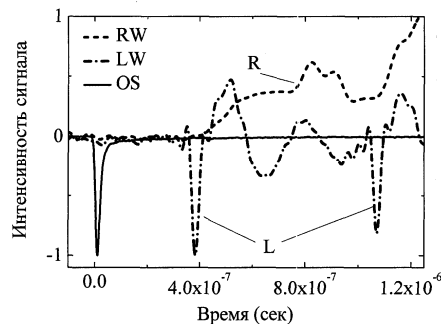
- 1) Патент США № 5381695, кл. 73/643
- 2) Патент РФ 2232983 (прототип)
- 3) Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988, с. 712
- 4) Трефилов В.И., Моисеев В.Ф., Печковский Э.П. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических металлов. К.: Наукова думка, 1987, с. 236

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

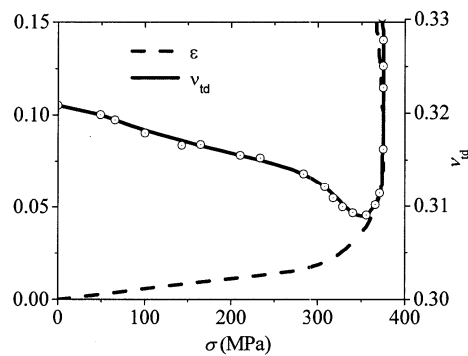
Устройство для определения и контроля скоростей поверхностных и продольных акустических волн в материалах при квазистатических и циклических нагрузках, содержащее импульсно-модулированный лазер, соединенный через оптоволокно с оптико-акустическим преобразователем, а также пьезоприемник, соединенный с аналого-цифровым преобразователем, подключенным к компьютеру, при этом контролируемый объект расположен между оптико-акустическим преобразователем и пьезоприемником, отличающееся тем, что устройство дополнительно содержит второй пьезоприемник, который выполнен в виде плоского кольца, совмещенного осесимметрично с оптико-акустическим преобразователем, и соединен с аналого-цифровым преобразователем.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2