



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 045 024** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **G 01 N 3/40**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 5040439/28, 29.04.1992

(46) Дата публикации: 27.09.1995

(56) Ссылки: 1. Авторское свидетельство СССР N 932368, кл. G 01N 3/40, 1980. 2. Авторское свидетельство СССР N 1404891, кл. G 01N 3/42, 1982. 3. Авторское свидетельство СССР N 796725, кл. G 01N 3/40, 1979. 4. Авторское свидетельство СССР N 989378, кл. G 01N 3/42, 1979. 5. Авторское свидетельство СССР N 1231430, кл. G 01N 3/40, 1989. 6. Авторское свидетельство СССР N 1310686, кл. G 01N 3/40, 1990.

(71) Заявитель:

Малое государственное внедренческое научно-производственное предприятие "Политехник"

(72) Изобретатель: Брызгалов В.Н.,
Карташевич Р.С., Тугенгольд А.К.

(73) Патентообладатель:

Малое внедренческое научно-производственное предприятие "Политехник"

(54) ТВЕРДОМЕР

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам акустического контроля материалов и может использоваться при контроле их твердости. Для этого устройство содержит внедряемый в материал индентор, жестко связанный с электроакустическим стержневым

преобразователем. Он состоит из пьезовозбудителя и пьезоиндикатора колебаний. Оба эти узла включены в схему генератора с самовозбуждением колебаний. Выход этого генератора соединен с блоком обработки и регистрации сигналов. 1 з. п. ф-лы, 1 ил.

RU 2 0 4 5 0 2 4 C 1

RU 2 0 4 5 0 2 4 C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 045 024** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.⁶ **G 01 N 3/40**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 5040439/28, 29.04.1992

(46) Date of publication: 27.09.1995

(71) Applicant:

**Maloe gosudarstvennoe vnedrencheskoe
nauchno-proizvodstvennoe predpriatie
"Politekhnik"**

(72) Inventor: Bryzgalov V.N.,

Kartashevich R.S., Tugengol'd A.K.

(73) Proprietor:

**Maloe vnedrencheskoe
nauchno-proizvodstvennoe predpriatie
"Politekhnik"**

(54) **HARDNESS TESTER**

(57) Abstract:

FIELD: devices for acoustic check of materials and their hardness. SUBSTANCE: device is provided with indenter penetrating into material when is rigidly connected with acoustical-electrical transducer. It

consists of piezoelectric oscillation exciter and piezoelectric indicator. Both these units are connected to self-exciting oscillator whose output is connected with signal processing and registration unit. EFFECT: enhanced reliability. 2 cl, 1 dwg

RU 2 0 4 5 0 2 4 C 1

RU 2 0 4 5 0 2 4 C 1

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к технике испытаний материалов и изделий на твердость путем вдавливания индентора под нагрузкой, и может быть использовано для деструктивного контроля реологических свойств изделий с высоким механическим импедансом поверхности, в том числе твердости и модуля упругости.

Известен способ определения твердости изделия [1] основанный на применении электроакустического преобразователя контролируемого механического импеданса в частоту резонансных автоколебаний индентора, по которой судят о величине контролируемой твердости, определяют твердость посредством оригинального индентора, резонансная частота автоколебаний которого в нагруженном состоянии контакта с контролируемой поверхностью зависит от ее твердости.

Однако частотная зависимость электроакустических преобразователей твердости такого типа оказывается слабо выраженной и в большей степени определяется модулем упругости контролируемого материала.

С целью повышения этой чувствительности и расширения диапазона измерения частотозависимые преобразователи твердости оптимизируют по акустической длине стержня передатчика волнового давления [2]

Однако за счет девиаций резонансной частоты преобразователя под переменной нагрузкой контролируемого импеданса происходит смещение оптимально выбранного узла колебаний вдоль стержня, следствием чего является амплитудная зависимость информационного сигнала в точке измерения от соотношения реологических составляющих контролируемого импеданса. Кроме того сохраняется слабая чувствительность резонансной частоты к активной составляющей импеданса зоны контакта.

Улучшенными метрологическими характеристиками в группе частотозависимых твердомеров обладают преобразователи, основанные на двух последовательных или одновременных измерениях одним или двумя инденторами с разными начальными условиями или параметрами преобразования [3] Устройство для осуществления этого способа основано на одновременном внедрении двух конструктивно связанных инденторов под различными известными нагрузками и независимом измерении их резонансных частот, по соотношению которых определяют искомую твердость. Это позволяет получить решение системы двух известных уравнений твердомерии, связывающих две измеренные резонансные частоты автоколебаний с контролируемыми значениями обеих составляющих комплексного импеданса, искомой твердостью и модулем упругости изделий.

Однако известное решение обладает недостаточной точностью за счет низкой добротности конструктивно сложного датчика с двумя инденторами, что дополнительно снижает чувствительность преобразователя к контролируемой твердости. Кроме того известное устройство не обеспечивает автоматизации измерения вследствие

использования графических зависимостей (номограмм) при определении твердости по соотношению измеренных резонансных частот.

Несколько лучшими характеристиками обладают устройства, основанные на способе контроля твердости материалов по скорости затухания колебательного процесса при импульсном возбуждении индентора электроакустического преобразователя под нагрузкой испытываемого импеданса [4] Активную составляющую этого импеданса зоны контакта контролируемого образца с индентором оценивают по декременту затухания диссипативного колебательного процесса, возбужденного импульсным воздействием тестовой силы. Так как рассеивание колебательной энергии преобразователя без потерь происходит только на контролируемой твердости, ее величина действительно оказывается пропорциональной измеряемой постоянной времени затухания резонансной частоты автоколебаний индентора.

Однако рассматриваемый аналог не обеспечивает контроля модуля упругости испытываемого материала, что снижает его функциональные возможности. Кроме того, точность определения скорости затухания процесса по его декременту ограничена шагом кусочно-линейной дискретизации по точкам локальных экстремумов огибающей процесс аппроксимирующей экспоненты затухания, т.е. отношением постоянной времени затухания, пропорциональной контролируемой твердости, к длительности периода возбужденных резонансных автоколебаний индентора, зависимой от обеих реологических составляющих испытываемого материала. Это ограничивает точность измерения и область применения способа, особенно при контроле относительно мягких изделий с малыми значениями модуля упругости.

Известна группа амплитудно-зависимых методов контроля твердости [5] при использовании которых измеряют амплитуду колебательной скорости индентора электроакустического преобразователя при условии поддержания постоянной амплитуды тестовой гармонической силы на резонансной частоте автоколебаний нагруженного на контролируемое изделие индентора. За счет высокой добротности преобразователя на резонансной частоте контролируемая твердость оказывается в первом приближении обратно пропорциональной измеренной амплитуде колебательной скорости.

К недостаткам способа относится остаточное влияние на результаты измерения твердости переменной величины реактивной составляющей контролируемого импеданса в зоне контакта с индентором. Кроме того, способ не обеспечивает контроля модуля упругости, что снижает его применимость для контроля изделий с заранее неизвестными упругими свойствами.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и получаемому эффекту является твердомер [6] основанный на фазовом методе контроля твердости электроакустическим преобразователем. Твердомер состоит из электроакустического датчика твердости и фазочувствительной

измерительной схемы. Датчик содержит корпус, стержень с индентором и жестко зафиксированными на нем пьезоэлектрическими возбудителем и приемником акустических колебаний, выполненный в едином пьезопреобразователе оригинального исполнения, а также пружину, взаимодействующую между корпусом и стержнем. Измерительная схема содержит управляемый высокочастотный генератор, выход которого подключен к пьезовозбудителю колебаний и одному из входов фазометра, второй вход которого соединен с пьезоприемником колебаний, а выход с первым входом блока управления, второй вход которого подключен к выходу привода индентора, вход которого соединен с вторым выходом блока управления, первый выход которого подключен к входу управления высокочастотного генератора. Причем пьезоэлемент выполнен в виде полого цилиндра с радиальной поляризацией и является общим для пьезоприемника и пьезовозбудителя, внутри цилиндра размещен один общий заземляющий электрод, а снаружи другой, выполненный из двух частей, установленных в осевом направлении.

Принцип работы прототипа основан на фазовой зависимости между тестовым гармоническим сигналом на резонансной частоте преобразователя и сигналом с выхода пьезоприемника колебательной скорости индентора, который зависит от комплексной нагрузки контролируемого реактанта изделия. На холостом ходу этот сдвиг фазы близок к $\pi/2$. Изменение сдвига фазы относительно $\pi/2$ под влиянием комплексного импеданса нагрузки служит критерием для оценки твердости. Зависимость сдвига фазы от твердости определяют экспериментально по образцам с заданными физико-механическими свойствами. В твердомере прототипа предусмотрен режим безударного контакта индентора с контролируруемыми изделиями, имеются предпосылки к автоматизации измерительного процесса и другие сервисные возможности.

Основным преимуществом прототипа является безынерционный характер процесса установления фазового сдвига под влиянием контролируемого импеданса. При этом результаты измерения могут определяться, не дожидаясь установления резонансной частоты и амплитуды колебательного процесса после внедрения индентора в испытываемый материал. Это обеспечивает высокую производительность контроля относительно альтернативных частотно и (или) амплитудно-чувствительных способов твердометрии.

Недостатком прототипа является отсутствие аналитических зависимостей между измеряемым сдвигом фазы и контролируемой твердостью. Это снижает точность ее определения вследствие невозможности проведения калибровки твердомера во всем диапазоне измерения с достаточно подробной дискретизацией калибровочной кривой. Кроме того, это ограничивает возможности автоматизации процесса измерения.

Прототип не обеспечивает также контроля

модуля упругости материала испытываемых изделий. Учитывая, что сдвиг фазы между гармоническими сигналами тестового возбуждения индентора и его колебательной скорости зависит от обоих реологических параметров контролируемого материала, достоверность результатов измерения твердости изделий с заранее неизвестными упругими свойствами не может быть гарантирована. Это снижает функциональные возможности и метрологическую надежность известного твердомера.

Цель изобретения повышение точности определения твердости и обеспечение возможности контроля модуля упругости испытываемых изделий.

Для этого известный твердомер, содержащий корпус, стержень, пружину взаимодействия между корпусом и этим стержнем, на рабочем конце которого укреплен индентор, установленный на стержне пьезоэлемент, имеющий общий электрод и отдельные электроды возбуждения и приема колебаний, синхронизируемый генератор, фазометр, первый и второй входы которого подключены соответственно к указанным электродам, дополнительно снабжен частотомером, усилителем мощности, вычислителем, первым и вторым индикаторами и измерительным усилителем, выход которого соединен с частотомером, выход синхронизации которого соединен с входом синхронизации генератора, выход которого через усилитель мощности нагружен возбуждающим электродом, а выход фазометра подключен к первому входу вычислителя, второй вход которого соединен с информационным выходом частотомера, причем первый и второй выходы вычислителя подключены соответственно к первому и второму индикаторам, а первый индикатор соединен с входом управления усилителя мощности.

Кроме того, усилитель мощности выполнен таким образом, что коэффициент усиления пропорционален напряжению на его входе управления.

На чертеже приведена блок-схема предлагаемого твердомера.

Твердомер содержит датчик твердости в составе стержня 1 с индентором 2 на одном его конце и инерционной массой 3 на другом, которые образуют основу известного электроакустического стержневого преобразователя твердости.

Преобразователь взаимодействует через пружину 4 с корпусом датчика 5. Для возбуждения преобразователя и получения с него сигнала, пропорционального колебательной скорости индентора 2, на стержне 1 жестко укреплен цилиндрический пьезоэлемент 6, имеющий конструктивно совмещенные секции пьезовозбудителя и пьезоприемника с общим заземляющим электродом и отдельными электродами ввода и вывода сигналов. Чувствительные элементы пьезопреобразователя 6 имеют взаимно перпендикулярную поляризацию. Замкнутый контур поддержания автогенераторного режима

электроакустического преобразователя твердости на резонансной частоте включает в себя последовательно соединенные между пьезоприемником и пьезовозбудителем

измерительный усилитель 7, частотомер 8, выход синхронизации которого подключен к входу синхронизации высокочастотного генератора 9, соединенного с управляемым усилителем мощности 10. Входы фазометра 11 подключены к соответствующим электродам приемника и возбудителя пьезоэлектрического элемента 6, а выход фазометра 11 соединен с первым входом вычислителя 12, второй вход которого подключен к информационному выходу частотомера 8. Первый выход вычислителя 12 подключен к первому индикатору 13 и входу управления коэффициентом усиления усилителя мощности 10, а второй выход вычислителя 12 к второму индикатору 14.

Контролируемое изделие 15.

Замкнутый контур обратной связи от пьезоприемника через усилитель 7, частотомер 8, генератор 9 и усилитель мощности 10 на пьезовозбудитель стержневого преобразователя твердости обеспечивает слежение за резонансной частотой ω_x автоколебаний индентора и поддержание их на незатухающем уровне. Значение частоты ω_x определяется акустическими свойствами преобразователя твердости и реологическими свойствами контролируемого изделия. Фазовый сдвиг между гармоническими сигналами тестовой силы возбуждения и колебательной скоростью индентора на холостом ходу близок к $\pi/2$ в точке приложения возбуждающей силы. На рабочем конце индентора колебательный процесс сдвинут по фазе относительно тестового сигнала на постоянную фазу $\Delta\varphi_0$, определяемую конечным временем распространения акустической волны в стержне, т.е. конечной скоростью распространения этой волны и конечной акустической длиной стержня между точкой приложения возбуждающей силы (пьезоэлементом 6) и рабочим концом индентора. Начальная фаза $\Delta\varphi_0$ является постоянным параметром стержневого преобразователя твердости и определяется его геометрией и акустическими характеристиками.

Таким образом, уравнение, описывающее тестовую силу на рабочем конце индентора при гармоническом возбуждении стержня можно записать в виде

$$F(t) = F_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_0}} \sin(\omega_x t + \Delta\varphi_0), \quad (1) \text{ где } F_0(\text{кгС})$$

амплитуда тестовой силы, возбуждающей акустический преобразователь;

$\tau_0(\text{С})$ постоянная затухания акустической волны в стержне;

$\omega_x(1/\text{С})$ резонансная частота колебаний индентора;

$\Delta\varphi_0$ постоянный фазовый параметр преобразователя.

Для получения аналитических выражений, необходимых для обоснования предлагаемого изобретения, воспользуемся операторным методом для описания динамических колебательных процессов в электроакустическом преобразователе твердости.

Учитывая, что стержневой преобразователь работает без потерь (незатухающий волновой процесс в стержне),

т.е. 0, уравнение (1) в операторной форме можно записать в виде

$$F(p) = F_0 \frac{\omega_x \cos \Delta\varphi_0 + p \sin \Delta\varphi_0}{p^2 + \omega_x^2}, \quad (2)$$

где P оператор Лапласа.

Преобразование (1) в (2) выполнено на основании справочных таблиц преобразования оригиналов функций операторного исчисления (см. например, Анри Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. М. Наука, 1964, с.533, табл. 8.3.29).

Комплексный механический импеданс контролируемого материала для гармонического тестового сигнала частотой описывается известным соотношением

$$Z(\omega_x) = R_x + j\omega_x M + \frac{E_x}{j\omega_x}, \quad (3) \text{ где } R_x(\text{ кг/с})$$

параметр, пропорциональный контролируемому активному сопротивлению зоны контакта (микротвердости);

$E(\text{кг/с}^2)$ параметр, пропорциональный контролируемому модулю упругости материала;

$M(\text{кг})$ колебательная масса электроакустического преобразователя твердости.

Операторное изображение контролируемого импеданса на основании (3), запишем в виде

$$Z(p) = \frac{M}{p} \left(p^2 + \frac{R_x}{M} p + \frac{E_x}{M} \right) = \frac{M}{p} \left(p^2 + 2 \frac{R_x}{2M} p + \frac{R_x^2}{4M^2} + \frac{E_x}{M} + \frac{R_x^2}{4M^2} \right) = \frac{M}{p} \left[(p + \lambda_x)^2 + \omega_x^2 \right], \text{ где } \lambda_x = \frac{R_x}{2M};$$

$$\omega_x = \frac{E_x}{M} - \lambda_x^2; \quad (5)$$

$\lambda_x(1/\text{с})$ диссипативный параметр затухания колебательного процесса под воздействием твердости контролируемого импеданса.

Колебательная скорость индентора описывается известным, приведенным ниже, отношением тестовой силы возбуждения колебаний к значению контролируемого импеданса и в рассматриваемом случае преобразуется на основании полученных изображений (2) и (4) к виду

$$v_x(p) = \frac{F(p)}{Z(p)} = p \frac{F_0}{M}$$

$$\frac{\omega_x \cos \Delta\varphi_0 - p \sin \Delta\varphi_0}{(p^2 + \omega_x^2) \left[(p + \lambda_x)^2 + \omega_x^2 \right]} \cdot \frac{F_0}{M} \cdot \frac{\omega_x p \cos \Delta\varphi_0 - p^2 \sin \Delta\varphi_0}{(p^2 + \omega_x^2) \left[(p + \lambda_x)^2 + \omega_x^2 \right]} \quad (6)$$

Оригинал полученного изображения колебательной скорости находят во временной форме по справочным таблицам

обратного преобразования Лапласа (например, см. Корн Г. и Т. Справочник по математике. М. Наука, 1984, с.244, 245, табл. 8.4-2 пп.2.13 и 2.14).

$$v_x(t) F_0 \frac{\omega_x}{M} \cdot \cos \Delta\varphi_0 \left[A_1 e^{\lambda_x t} \cdot \sin(\omega_x t + \alpha_1) + B_1 \sin(\omega_x t + \beta_1) \right] + \frac{F_0}{M} \cdot \sin \Delta\varphi_0 \left[A_2 e^{\lambda_x t} \cdot \sin(\omega_x t + \alpha_2) + B_2 \sin(\omega_x t + \beta_2) \right] \quad (7)$$

Очевидно, что гармонический сигнал реакции индентора на тестовое возбуждение выбранного типа (т.е. его колебательная скорость) состоит из затухающих гармонических составляющих амплитудой A_1 и A_2 не резонансной частоте ω_x нагруженного на контролируемый импеданс преобразователя твердости и установившихся гармонических колебаний амплитудой B_1 и B_2 на этой же частоте. Причем каждый из составляющих колебательную скорость гармонических сигналов имеет собственную фазовую характеристику, зависящую от реологических соотношений контролируемого импеданса.

При этом спустя определенный интервал времени после возбуждения индентора, достаточный для завершения затухающего процесса диссипативной составляющей колебательной скорости $V_x(t)$ по (7), т.е. при условии

$$T_{изм} \geq (4-5) \cdot \frac{1}{\lambda_x} \quad (8) \text{ переходной режим}$$

установления сигнала колебательной скорости завершится и уравнение (7), описывающее информационный сигнал преобразователя твердости упростится к виду

$$v_{уст}(t) \frac{F_0}{M} \left[B_1 \omega_x \cos \Delta\varphi_0 \cdot \sin(\omega_x t + \beta_1) - B_2 \sin \Delta\varphi_0 \cdot \sin(\omega_x t + \beta_2) \right] \quad (9) \text{ где } B_1, B_2, \beta_1 \text{ и } \beta_2 \text{ определяются нижеприведенными выражениями (см. указанную таблицу оригиналов по Г. и Т. Корн).}$$

$$\beta_1 = \frac{\pi}{2} + \arctg 2 \frac{\omega_x}{\lambda_x}$$

$$\beta_2 = \arctg 2 \frac{\omega_x}{\lambda_x} - \beta_1 - \frac{\pi}{2}$$

$$B_1 = \frac{1}{\lambda_x} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda_x^2 + 4\omega_x^2}} \quad (10)$$

$$B_2 = \frac{\omega_x}{\lambda_x} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda_x^2 + 4\omega_x^2}} \omega_x \cdot B_1$$

После несложного математического преобразования выражения (9) с учетом (10) уравнение колебательной скорости получим в виде

$$v_{уст}(t) F \frac{\omega_x}{M \lambda_x \sqrt{\lambda_x^2 + 4\omega_x^2}} \cdot \cos(\omega_x t + \beta_2 + \Delta\varphi_0) \quad (11)$$

Совместное решение фазовой зависимости выражения (11) и частотозависимого уравнения (5.2) позволяет получить алгоритм фазочувствительного преобразования предлагаемого твердомера в виде системы уравнений

$$\beta_2 + \Delta\varphi_0 = \eta_x = \Delta\varphi_0 + \arctg 2 \frac{\omega_x}{\lambda_x} \quad (12)$$

$$\omega_x^2 = \omega_0^2 - \lambda_x^2 \text{ откуда имеем}$$

$$\lambda_x = 2 \cdot \frac{\omega_x}{\operatorname{tg}(\eta_x - \Delta\varphi_0)}$$

$$\omega_0^2 = \omega_x^2 + \lambda_x^2 \text{ или в окончательном виде}$$

$$R_x = 4M \frac{\omega_x}{\operatorname{tg}(\eta_x - \Delta\varphi_0)}$$

$$E_x = M \cdot \omega_x^2 \left[1 + \frac{4}{\operatorname{tg}^2(\eta_x - \Delta\varphi_0)} \right]$$

Таким образом, установлено, что контролируемая известным электроакустическим преобразователем твердость изделий оказывается пропорциональной его резонансной частоте ω_x и обратно пропорциональной тангенсу сдвига фазы η_x между гармоническими сигналами тестовой силы возбуждения индентора и установившимся значением его колебательной скорости за вычетом постоянного фазового параметра $\Delta\varphi_0$ преобразователя. Последний определяют на холостом ходу индентора без нагрузки и автоматически вычитают из результатов измерения полного фазового сдвига η_x под нагрузкой преобразователя на контролируемый импеданс. Установлено также, что описанным фазочувствительным методом можно определить значение модуля упругости контролируемых изделий по приведенной формуле (14.2). Оба контролируемых реологических параметра определяются одновременно и инвариантно друг к другу на основании результатов измерений двух переменных параметров колебательного процесса нагруженного индентора его резонансной частоты ω_x и фазового сдвига η_x между информационным и тестовым гармоническим сигналами.

Для осуществления этого в предлагаемом твердомере введен вычислитель 12, на входы которого подаются результаты измерений резонансной частоты ω_x с выхода частотомера 8 и фазы η_x колебаний с выхода фазометра 11. Вычислитель 12 обрабатывает эти результаты измерений по алгоритму (14) и с учетом заранее измеренного на холостом ходу ненагруженного индентора постоянного фазового параметра $\Delta\varphi_0$ преобразователя выдает показания контролируемых твердости R_x и модуля упругости E_x на соответствующие индикаторы 13 и 14.

Кроме того, с первого выхода вычислителя 12 сигнал, пропорциональный контролируемой твердости R_x поступает на вход управления усилителя мощности 10.

Усилитель 10 выполнен таким образом, что указанная обратная связь по управлению коэффициентом его усиления обеспечивает прямую зависимость амплитуды тестовой гармонической силы F_0 от величины контролируемой твердости. При этом интенсивность динамических процессов уплотнения отпечатков индентора за счет тестового автоколебания его рабочего конца после завершения внедрения и формообразования отпечатка под статической нагрузкой индентора, оказывается пропорциональной полученной твердости материала R_x . Это обеспечивает подобие процессов уплотнения отпечатка по удельной динамической нагрузке индентора на контролируемое изделие во всем диапазоне измерения таким образом, что относительно мягкие материалы утрамбовываются при низких амплитудах резонансной частоты, а твердые при больших. Указанное способствует повышению точности измерения и не влияет на алгоритм измерения (14) вследствие его независимости от амплитудных характеристик колебательного процесса твердомера.

Обратная связь управления усилителем мощности 10 обеспечивает такое новое свойство предлагаемого высокую надежность поддержания автоколебательного режима в широком диапазоне измерения твердости за счет управляемого изменения амплитуды тестового сигнала пропорционально текущему значению этой контролируемой твердости. Действительно, амплитуда информационного сигнала колебательной скорости на основании (11) обратно пропорциональна диссипативному параметру λ_x , т. е. контролируемой твердости на основании (5.1). Учитывая, что информационные параметры ω_x и η_x уравнения преобразования (14) инвариантны к амплитудным характеристикам колебательной скорости, величиной этой амплитуды оказывается полезно манипулировать с целью ее поддержания на постоянном уровне при контроле изделий с различными реологическими свойствами.

Коэффициент усиления по мощности тестового сигнала обеспечивают пропорциональным контролируемой твердости. Амплитуда информационного сигнала (11) при условии $\lambda_x \ll 2 \omega_x$ (15) на основании (11) окажется равной

$$K_{уст(10)} = F_0 \frac{v_{x(1)}^{уст(1)}(t)}{\omega_x} \cdot \frac{v_{x(1)}^{уст(1)}(t)}{R_x} = F_0 \frac{\lambda_x \cdot m \sqrt{\lambda_x^2 + 4\omega_x^2}}{\omega_x}$$

$$\frac{F_0}{R_x} \cdot R_x = F_0 = \text{const} \quad (16)$$

5
10
15
20
25
Иначе говоря, введение новой обратной связи с первого выхода вычислителя 12 на вход управления усилителя 10 таким образом, что коэффициент усиления 10 по мощности пропорционален измеренному значению контролируемой твердости, обеспечивает новое свойство предлагаемого автоматическую адаптацию твердомера по амплитуде информационного сигнала таким образом, что она остается постоянной при контроле изделий с любыми реологическими свойствами во всем диапазоне измерения за счет полученного алгоритма (16) оптимального управления амплитудой тестовой силы возбуждения колебаний. В свою очередь вновь полученное свойство обеспечивает новый положительный эффект относительно прототипа, высокие надежность и устойчивость возбуждения и поддержания автоколебательного режима преобразователя твердости. Следствием этого является также еще одно преимущество предлагаемого постоянная чувствительность твердомера к информационному сигналу колебательной скорости.

Формула изобретения:

1. ТВЕРДОМЕР, содержащий корпус, стержень, пружину взаимодействия между корпусом и стержнем, на рабочем конце которого укреплен индентор, установленный на стержне пьезоэлемент, имеющий общий электрод и отдельные электроды возбуждения и приема колебаний, синхронизируемый генератор, фазометр, первый и второй входы которого подключены соответственно к указанным электродам, отличающийся тем, что он дополнительно снабжен частотомером, усилителем мощности, вычислителем, первым и вторым индикаторами и измерительным усилителем, выход которого соединен с частотомером, выход синхронизации которого соединен с входом синхронизации генератора, выход которого через усилитель мощности нагружен возбуждающим электродом, а выход фазометра подключен к первому входу вычислителя, второй вход которого соединен с информационным выходом частотомера, причем первый и второй выходы вычислителя подключены соответственно к первому и второму индикаторам, а первый индикатор соединен с входом управления усилителя мощности.

2. Твердомер по п.1, отличающийся тем, что усилитель мощности выполнен так, что коэффициент усиления пропорционален напряжению на его входе управления.

55

60

