



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 200 309** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **G 01 N 3/26, 3/04**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 2001103040/28 , 06.02.2001

(24) Дата начала действия патента: 06.02.2001

(46) Дата публикации: 10.03.2003

(56) Ссылки: SU 714217 A, 05.02.1980. SU 183464 A1, 17.06.1966. SU 1654723 A1, 07.06.1991. US 5460052 A, 24.10.1995. JP 62-212548 A, 18.09.1987. PR 2650894 A, 15.02.1991.

(98) Адрес для переписки:
103907, ГСП-3, Москва, ул. Моховая, 11, ИРЭ
РАН, патентный отдел

(71) Заявитель:

Институт радиотехники и электроники РАН

(72) Изобретатель: Шушпанов О.Е.,

Чаморовский Ю.К., Шварев А.Н., Демин
И.Б., Дяченко А.А.

(73) Патентообладатель:

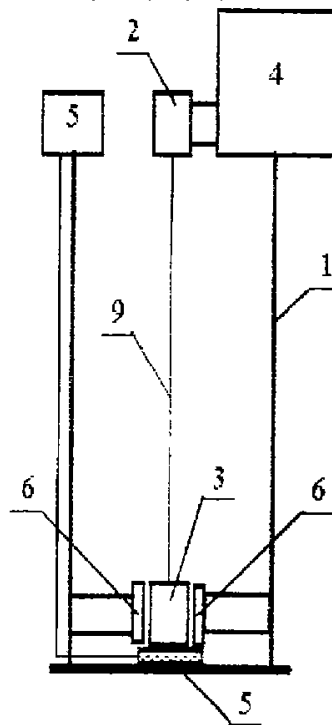
Институт радиотехники и электроники РАН

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ УСТАЛОСТЬ**

(57)

Изобретение относится к области измерения параметров механической усталости волоконных световодов. Устройство для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость содержит вертикальное основание, узел с неподвижно закрепленным верхним, узел с неподвижно закрепленным нижним зажимом, верхний и нижний зажимы струбциночного типа для фиксации концов образца. Устройство также имеет привод для прецизионного управляемого вращения узла верхнего зажима относительно вертикальной оси, индикатор разрушения образца волоконного световода, размещенный в верхней части вертикального основания устройства, направляющие, которые обеспечивают свободное перемещение узла нижнего зажима в вертикальном направлении и препятствуют его вращению относительно вертикальной оси. Узлы верхнего и нижнего зажимов снабжены направляющими, оси которых перпендикулярны оси вращения волоконного световода, для свободного продвижения по ним соответствующих зажимов, верхний и нижний зажимы имеют первые направляющие для совмещения с направляющими узлов верхнего и нижнего зажимов, зажимы снабжены двумя или более прижимными винтами для фиксации образца, верхний и нижний зажимы имеют вторые направляющие для совмещения оси образца волоконного световода с осью вращения верхнего зажима, вес узла нижнего зажима W_{car} выбран таким, чтобы выполнялось условие $0,090 \text{ кгс} \leq W_{\text{car}} \leq 3,23$

кгс, центр тяжести верхнего зажима смещен относительно оси его вращения в сторону продвижения зажима. Данное изобретение позволяет снизить стоимость испытаний световодов, а также повысить производительность труда операторов в процессе эксплуатации устройства. 5 ил.



Фиг. 2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 200 309** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **G 01 N 3/26, 3/04**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2001103040/28 , 06.02.2001
 (24) Effective date for property rights: 06.02.2001
 (46) Date of publication: 10.03.2003
 (98) Mail address:
 103907, GSP-3, Moskva, ul. Mokhovaja, 11, IREh
 RAN, patentnyj otdel

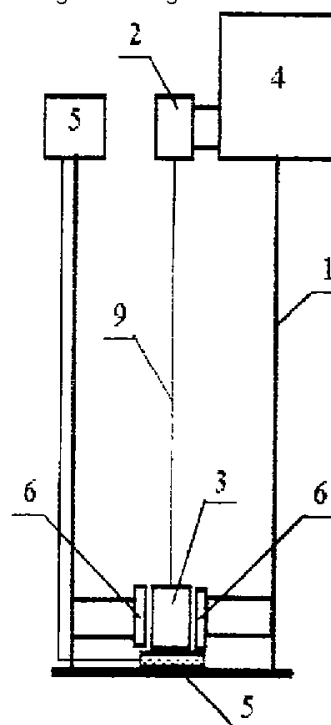
(71) Applicant:
 Institut radiotekhniki i ehlektroniki RAN
 (72) Inventor: Shushpanov O.E.,
 Chamorovskij Ju.K., Shvarev A.N., Demin
 I.B., Djachenko A.A.
 (73) Proprietor:
 Institut radiotekhniki i ehlektroniki RAN

(54) **GEAR TESTING FIBER-OPTICAL LIGHT GUIDES FOR MECHANICAL FATIGUE**

(57) Abstract:

FIELD: measurement of parameters of mechanical fatigue of fiber-optical light guides. SUBSTANCE: gear testing fiber-optical light guides for mechanical fatigue has vertical base, unit with fixed upper clamp, unit with fixed lower clamp, upper and lower cramps. Gear includes drive of precision controllable rotation of unit with upper clamp with reference to vertical axis, inductor destroying specimen of fiber-optical light guide located in upper part of vertical base of gear, guides ensuring free movement of unit of lower clamp in vertical direction and preventing its rotation relative to vertical axis. Units of upper and lower clamps are provided with guides which axes are perpendicular to rotation axis of light guide and are intended for free thrust of corresponding clamps on them. Upper and lower clamps has first guides to align units of upper and lower clamps with guides. Clamps are fitted with two or more pressure screws to fix specimen. Upper and lower clamps have second guides to match axis of specimen of fiber-optical light guide with rotation axis of upper clamp. Weight W_{car} of unit of lower clamp is so chosen that it complies with condition $0,09 \text{ krc} \leq W_{car} \leq 3,23 \text{ kgf}$. Center of gravity of upper clamp is displaced with regard to its rotation axis towards side of clamp thrust. EFFECT: reduced cost of test

of fiber-optical light guides, raised productivity of operators in process of operation of gear. 5 dwg



Фиг. 2

RU 2 200 309 C2

RU 2 200 309 C2

Изобретение относится к устройствам для измерения параметров процесса механической усталости волоконных световодов.

Известно устройство-аналог, позволяющее измерять параметры процесса усталостного разрушения волоконных световодов, - это универсальная разрывная машина [1]. С точки зрения усталостных испытаний принципиально важным качеством разрывной машины является возможность испытывать образцы при различных постоянных значениях скорости нагружения (то есть скорости увеличения нормального напряжения растяжения). Как правило, разрывные машины снабжены климатическими камерами, которые позволяют испытывать образцы и измерять параметры механической усталости при различных окружающих условиях, в частности при 100% влажности. Однако разрывные машины являются дорогими устройствами. Дорогим оказывается и процесс усталостных испытаний с помощью разрывной машины из-за неэффективного использования длины образцов при проведении этих испытаний. Например, при проведении испытаний, результаты которых приведены ниже, длина каждого образца, испытываемого на разрывной машине, составляла ~ 1м, при нагружаемой длине ~ 0.15 м. Концы образцов длиной ~ 0.85 м были необходимы для закрепления образцов на барабанных зажимах разрывной машины [1].

Известно устройство-прототип для механических испытаний образцов стеклянных волокон путем одновременного воздействия на них напряжениями динамического кручения и динамического осевого растяжения [2]. Устройство создано путем модификации универсальной разрывной машины. Модификация состояла в том, что на нижней части основания разрывной машины неподвижно закреплено основание специально разработанного стола, имеющего подвижную площадку, которая приводится во вращение относительно вертикальной оси электродвигателем постоянного тока и на которой неподвижно крепится зажим для фиксации нижнего конца образца стеклянного волокна.

Устройство-прототип имеет:
 вертикальное основание;
 узел с неподвижно закрепленным верхним зажимом (для фиксации верхнего конца испытываемого образца);
 узел с неподвижно закрепленным нижним зажимом (для фиксации нижнего конца образца);
 верхний и нижний зажимы струбциночного типа для фиксации концов образца;
 привод для прецизионного управляемого перемещения узла верхнего зажима в вертикальном направлении;
 привод для прецизионного управляемого вращения узла нижнего зажима относительно вертикальной оси;
 измеритель усилия растяжения, приложенного к испытываемому образцу;
 измеритель угла поворота узла нижнего зажима относительно вертикальной оси.

Достоинством этого устройства является эффективное использование длины образцов. Благодаря возможности использования в этом случае струбциночных зажимов полная длина

образцов для устройства-прототипа незначительно отличалась от нагружаемой длины.

Измеряемыми величинами в устройстве-прототипе являются разрывное усилие W , фиксируемое датчиком усилия растяжения, и угол поворота φ площадки стола с нижним зажимом, при котором происходит разрушение образца.

В качестве меры механической прочности стеклянных волокон используется значение нормального разрушающего напряжения σ_N , которое рассчитывается по известной формуле [3]

$$\sigma_N = \frac{\sigma_t + \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot G^2 \cdot \left(\frac{\varphi}{l}\right)^2 \cdot R_{of}^2}}{2}, \quad (1)$$

где l - нагружаемая длина образца,

$$\sigma_t = W / (\pi \cdot R_{of}^2), \quad G = \frac{E}{Z \cdot (1 - \nu)}, \quad (2)$$

R_{of} - радиус стеклянного волокна, E и ν - соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала образца. Для кварцевых стекол $E \sim 7200 \text{ кгс/мм}^2$, $\nu \approx 0.1682$.

При проведении усталостных испытаний волоконных световодов важно обеспечить постоянство скорости нагружения [1]. Измерения значений медианной прочности при различных постоянных скоростях нагружения позволяют определить параметры процесса усталостного разрушения волоконного световода и, следовательно, построить научно обоснованный прогноз его долговечности. В случае, когда испытательное напряжение создается за счет совместного воздействия напряжений динамического кручения и динамического осевого растяжения, скорость нагружения оказывается постоянной только при постоянных (ненулевых) скоростях и осевого растяжения и динамического кручения.

Устройство-прототип имеет следующие недостатки:

- оно является дорогим;
- позволяет испытывать образцы только в лабораторной среде;
- конструкция зажимов для образцов не обеспечивает высокой производительности труда оператора устройства и не позволяет испытывать современные волоконные световоды, покрытые защитными полимерными оболочками.
- Дороговизна устройства вызвана наличием двух прецизионных механизмов нагружения: продольного растяжения образцов и их осевого кручения и, соответственно, наличием двух измерителей: разрывного усилия и угла поворота стола с нижним зажимом. Устройство-прототип не позволяет исследовать свойства образцов в средах, отличных от лабораторной, поскольку из-за наличия поворотного стола не может быть использована стандартная климатическая камера разрывной машины. Процесс установки образцов для испытаний с помощью устройства-прототипа является длительным и неудобным. Требуется высокая точность установки образца: необходимо совместить его ось с осью вращения нижнего зажима с ошибкой, не превышающей значение диаметра образца. Вследствие того

что верхний и нижний зажимы жестко закреплены в соответствующих узлах устройства-прототипа и оно не имеет никаких приспособлений для упрощения и ускорения процесса заправки, производительность труда оператора устройства оказывается низкой - много времени тратится на специальную подготовку образцов.

Устройство-прототип разрабатывалось и применялось для испытаний стеклянных волокон без защитного полимерного покрытия. В зажимах устройства-прототипа фиксировались стеклянные концы волокна, защищенные от воздействия жестких прижимных губок струбциночных зажимов картонными накладками. Современные волоконные световоды представляют собой многослойные конструкции: стеклянная световедущая часть покрыта снаружи несколькими защитными слоями полимеров. Обычно первичное полимерное покрытие, наносимое непосредственно на стекло, выполнено из мягкого полимера, а наружное - из жесткого. Попытка использовать при испытаниях таких волоконных световодов струбциночные зажимы с одним прижимным винтом (как у прототипа) выявила следующие трудности. Для эффективной фиксации концов образца необходимо сильно деформировать жесткое наружное покрытие так, чтобы мягкое первичное покрытие не могло играть роль "смазки" между наружным покрытием и стеклянной световедущей частью. Если прижим оказывается недостаточным, то крутящий момент не передается от зажима к стеклянной части волоконного световода и испытание образца провести не удастся. Если же прижим оказывается слишком сильным, то образец может разрушиться на зажимах и измеренные значения прочности оказываются заниженными по сравнению с результатами испытаний этого же волоконного световода на разрывной машине с барабанными зажимами. Это проиллюстрировано на фиг.1. Здесь приведены результаты измерения прочности одномодового волоконного световода, имеющего двухслойное полимерное покрытие. На графике по оси абсцисс отложены значения разрывных усилий, эквивалентные измеренным значениям разрывных нормальных напряжений, а по оси ординат - вероятности Р разрушения образцов. Эквивалентные разрывные усилия $F_{едн}$ рассчитывались по формуле $F_{едн} = \sigma_N \cdot \pi \cdot R_{от}^2$. Диаметр стеклянной части волоконного световода составлял 0.125 мм, наружный диаметр волоконного световода в покрытии - 0.255 мм. В качестве первичного покрытия использован полимер DeSolite 950-106, толщина покрытия составляла 0.04 мм. Материал вторичного покрытия - полимер DeSolite 950-108, толщина покрытия 0.025 мм. Экспериментальные точки, отмеченные знаком "о" получены при использовании в предлагаемом устройстве струбциночных зажимов с одним прижимным винтом. Экспериментальные точки, отмеченные знаком "х", получены на разрывной машине с барабанными зажимами.

Целью предлагаемого изобретения является удешевление устройства для измерения параметров процесса усталостного

разрушения волоконных световодов (в том числе в условиях, отличных от лабораторных);

повышение производительности труда оператора устройства.

- 5 Поставленная цепь достигается благодаря тому, что предлагаемое устройство для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость имеет
 - 10 вертикальное основание;
 - узел с неподвижно закрепленным верхним зажимом (для фиксации верхнего конца испытываемого образца);
 - узел с неподвижно закрепленным нижним зажимом (для фиксации нижнего конца образца);
 - 15 верхний и нижний зажимы струбциночного типа для фиксации концов образца;
 - согласно изобретению устройство имеет привод для прецизионного управляемого вращения узла верхнего зажима относительно вертикальной оси;
 - 20 устройство имеет индикатор разрушения образца волоконного световода, размещенный в верхней части вертикального основания устройства;
 - устройство имеет направляющие, которые обеспечивают свободное перемещение узла нижнего зажима в вертикальном направлении и препятствуют его вращению относительно вертикальной оси;
 - узлы верхнего и нижнего зажимов снабжены направляющими, оси которых перпендикулярны оси вращения волоконного световода, для свободного надвигания по ним соответствующих зажимов;
 - 25 верхний и нижний зажимы имеют первые направляющие для совмещения с направляющими узлов верхнего и нижнего зажимов;
 - зжимы снабжены двумя или более прижимными винтами для фиксации образца;
 - 30 верхний и нижний зажимы имеют вторые направляющие для совмещения оси образца волоконного световода с осью вращения верхнего зажима;
 - вес узла нижнего зажима W_{car} выбран таким, чтобы выполнялись условия $0.090 \text{ кгс} \leq W_{car} \leq 3.23 \text{ кгс}$; (3)
 - 35 центр тяжести верхнего зажима смещен относительно оси вращения в сторону надвигания зажима.
 - Изобретение поясняется чертежами.
 - Фиг. 1. Сравнение распределения разрывной прочности волоконного световода, измеренной с помощью универсальной разрывной машины Instron-1122, и крутильной прочности, измеренной с помощью устройства для испытаний волоконных световодов на механическую усталость путем одновременного воздействия на них 40 напряжениями кручения и осевого растяжения. При крутильных испытаниях использовались струбциночные зажимы с одним прижимным винтом.
 - Фиг. 2 Принципиальная схема устройства для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость путем одновременного воздействия на них 45 напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения.
 - Фиг.3 Принципиальная схема реализованного устройства для испытаний образцов волоконных световодов на

механическую усталость путем одновременного воздействия на них напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения.

Фиг. 4. Сравнение распределения разрывной прочности волоконного световода, измеренной с помощью универсальной разрывной машины Instron-1122, и крутильной прочности, измеренной с помощью устройства для испытаний волоконных световодов на механическую усталость путем одновременного воздействия на них напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения. При крутильных испытаниях использовались струбциночные зажимы с двумя прижимными винтами.

Фиг.5 Принципиальная схема струбциночного зажима с двумя прижимными винтами для закрепления образцов волоконных световодов в устройстве для испытаний на механическую усталость путем одновременного воздействия на образцы напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения.

Принципиальная схема предлагаемого устройства для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость представлена на фиг.2.

Устройство содержит вертикальное основание 1, на котором закреплены все узлы устройства. Узел 2 с неподвижно закрепленным на нем верхним зажимом расположен в верхней части вертикального основания. Прецизионное управляемое вращение узла 2 относительно вертикальной оси осуществляется с помощью привода 4, состоящего из шагового электродвигателя (ШД) и редуктора. Использование шагового электродвигателя позволяет обойтись без измерителя угла поворота узла верхнего зажима, поскольку для высокоточного определения значения угла достаточно подсчитать количество шагов, выполненных ШД. В нижней части вертикального основания расположен узел 3 с неподвижно закрепленным нижним зажимом. Узел может свободно перемещаться в вертикальном направлении вдоль направляющих 6, которые в то же время препятствуют вращению узла относительно вертикальной оси. Благодаря этому осуществляется динамическое закручивание образца волоконного световода 9 с помощью привода узла верхнего зажима. В процессе выполнения испытаний узел нижнего зажима свободно висит на тестируемом волоконном световоде, осуществляя его статическое растяжение. При разрушении образца узел 3 падает вдоль направляющих 6 и изменяет состояние индикатора 5 разрушения образца волоконного световода. Электрическая часть индикатора 5, как и привод 4, расположены в верхней части вертикального основания 1. Индикатор разрушения образца волоконного световода является необходимым узлом предлагаемого устройства. В устройстве-прототипе признаком разрушения являлось резкое падение усилия растяжения, фиксируемое измерителем усилия растяжения при разрушении образца стеклянного волокна. Измеритель усилия растяжения является дорогим высокоточным элементом испытательного устройства, и его присутствие не является необходимым для

обеспечения фиксации разрушения. Для этой цели достаточно индикатора, который имеет два состояния: "образец цел", "образец разрушен".

Малый вес и компактность устройства в целом позволяют в отличие от устройства-прототипа использовать предлагаемое устройство для испытаний образцов в различных средах, например в воде. Вес предлагаемого устройства не превышает 4 кгс и сконструировано оно так, что электрический привод для управления вращением узла верхнего зажима, а также электрическая часть индикатора разрушения образца волоконного световода расположены в верхней части вертикального основания устройства. Благодаря этому при погружении устройства в емкость с водой (аквариум) привод и электрическая часть индикатора оказываются выше уровня воды, что позволяет испытывать образцы в условиях 100% влажности.

Устройство-прототип создано на основе универсальной разрывной машины, цена которой вместе с климатической камерой составляет ~ 20000 \$. Предлагаемое устройство стоит ~ 3000 \$. Такая разница в ценах вызвана следующими причинами. В устройстве-прототипе осевое растяжение образца создается за счет прецизионного управляемого вертикального перемещения узла верхнего зажима с помощью мощного привода универсальной разрывной машины. В предлагаемом устройстве статическое осевое растяжение образца создается за счет веса узла нижнего зажима, который в процессе проведения испытания свободно висит на образце волоконного световода. Вес этого узла известен, поэтому не нужен датчик усилия осевого растяжения образца, который необходим при использовании устройства-прототипа.

Нормальные напряжения в образцах волоконных световодов при механических испытаниях методом кручения можно рассчитать, измеряя либо значения приложенного к образцу крутящего момента, либо значения деформации. Значения момента при разрушении волоконных световодов не превышают 0.1 кгс*мм. Для измерения столь малых значений момента силы не существует эталонов. Использование деформации для расчета разрушающего напряжения может привести к большим ошибкам, вызванным тем, что по-разному деформируется часть образца, находящаяся между зажимами, и концы образца на зажимах. Деформацию волоконного световода можно описать, вводя эффективную длину [4] образца, которая отличается от расстояния между зажимами (то есть нагружаемой длины образца) тем больше, чем больше деформируемая длина волоконного световода на зажимах. Трудность состоит в том, что длина, на которой деформация образца на зажимах уменьшается до нуля, зависит от ее максимального значения. При разработке конструкции зажимов для испытаний волоконных световодов особое внимание было уделено тому, чтобы минимизировать разницу между нагружаемой и эффективной длиной образцов. Успешное решение этой задачи позволило использовать значения

деформации образцов для расчета разрушающих нормальных напряжений.

В устройстве-прототипе применены зажимы струбциночного типа с одним прижимным винтом. При использовании таких зажимов велика вероятность повреждения поверхности волоконного световода на зажиме. Вследствие этого распределение прочности, измеренное на крутильной машине с такими струбциночными зажимами, оказывается сдвинутым в область малых прочностей по сравнению с распределением прочности, полученным при испытаниях образцов этого же волоконного световода на разрывной машине с барабанными зажимами (см. фиг.1). На фиг.4 представлено сравнение распределений прочности одного и того же волоконного световода, измеренных на крутильной машине, снабженной струбциночными зажимами с двумя прижимными винтами (как у предлагаемого устройства), и с помощью разрывной машины, снабженной барабанными зажимами. Видно, что при использовании струбциночных зажимов с двумя прижимными винтами распределение крутильной прочности совпадает с распределением разрывной прочности. Это связано с тем, что при использовании таких зажимов не происходит повреждения и разрушения образцов на зажимах.

В то же время такие зажимы тоже относятся к классу струбциночных, поскольку, согласно БСЭ (издание второе, т. 41, стр. 147), струбцинка представляет собой прямоугольную раму, через один из длинных брусьев которой пропущен один или несколько прижимных винтов.

Для удобства заправки, повышения точности установки образцов и увеличения производительности труда оператора испытательного устройства узлы верхнего и нижнего зажимов имеют направляющие, совместимые с первыми направляющими на верхнем и нижнем зажимах. Оси тех и других направляющих перпендикулярны оси вращения образца. Благодаря этому зажимы легко снимаются и устанавливаются в узлах. Это позволяет заправлять образцы в зажимы вне устройства и затем свободно надвигать зажимы по направляющим, находящимся на узлах верхнего и нижнего зажимов.

Для обеспечения высокой точности совмещения оси образца волоконного световода с осью вращения верхнего зажима верхний и нижний зажимы снабжены вторыми направляющими, которые позволяют совместить ось вращения зажима с осью волоконного световода с ошибкой, не превышающей 0.1 мм, то есть менее радиуса образца.

Предлагаемое устройство для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость функционирует следующим образом. Оператор снимает зажимы с узлов и, используя вторые направляющие, вставляет в зажимы концы заранее отрезанного образца волоконного световода. Затем концы образца фиксируются за счет затягивания прижимных винтов струбцинок и зажимы с закрепленным в них образцом надвигаются по направляющим в узлах 2 и 3. Узел 3 удерживается от перемещения в вертикальном направлении за счет упругости образца 9. Индикатор

разрушения образца находится в состоянии "образец цел".

После этого включается ШД привода 4 и образец подвергается закручиванию относительно вертикальной оси. Для того чтобы при вращении верхний зажим не слетал с направляющей узла 2 его центр тяжести смещен относительно оси вращения в сторону надвигания зажима. Таким образом, при вращении зажим прижимается к опорной поверхности центробежной силой. Волоконный световод испытывает одновременное воздействие статического осевого растяжения за счет веса узла 3 с нижним зажимом и напряжения динамического кручения, создаваемого с помощью прецизионного привода 4. После достижения нормального напряжения разрушающего значения и разрушения образца узел 3 падает вдоль направляющих 6, изменяя состояние индикатора 5 разрушения образца волоконного световода на "образец разрушен". При этом фиксируется значение угла поворота ШД, выполненного с момента начала испытания. Значение разрушающего напряжения рассчитывается с помощью соотношения (6) (см. ниже) или (1), в которых угол φ равен значению угла поворота узла верхнего зажима относительно оси образца, выполненного приводом 4, и значение W равно весу узла 3 с нижним зажимом. При проведении испытаний в аквариуме вес узла 3 уменьшается на архимедову силу.

Вес узла нижнего зажима выбирается таким (3), чтобы обеспечить механическую устойчивость и постоянство скорости нагружения тестируемых образцов. Благодаря этому устройство используется для измерения параметров процесса механической усталости волоконных световодов. Кручение волоконного световода при выполнении испытаний может привести к потере им механической устойчивости, при этом ось образца образует сложную пространственную кривую, и напряжение, действующее на него, оказывается очень сложным. В этом случае интерпретация результатов испытаний затруднена. Для того чтобы потери устойчивости не происходило, достаточно приложить к образцу дополнительное растяжение σ_t , превышающее некоторое критическое значение σ_{zer} :

$$\sigma_{zer} \leq \sigma_t.$$

Испытания показывают, что для волоконных световодов $\sigma_{zer} \approx 10^{-3} \cdot E$, так что при испытании с помощью предлагаемого устройства потери устойчивости образцов удается избежать, если вес узла 3 с нижним зажимом удовлетворяет условию

$$10^{-3} \cdot E \cdot \pi \cdot R_{of}^2 \leq W_{car}.$$

В случае, когда испытательное напряжение в образце создается за счет совместного воздействия напряжениями динамического и статического осевого растяжения, невозможно обеспечить постоянство скорости нагружения во всем диапазоне значений нормального напряжения. При выполнении испытаний с целью определения параметров механической усталости волоконных световодов важно обеспечить постоянство

скорости увеличения нормального напряжения $\dot{\sigma}_N$ при напряжениях, значения

которых превышают 80% значения напряжения разрушения [1]. Здесь и ниже точка сверху означает дифференцирование по времени. Если вес узла с нижним зажимом удовлетворяют условию

$$W_{\text{car}} \leq 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot E \cdot \pi \cdot R_{\text{of}}^2 \quad (5)$$

то значение нормального напряжения (1) в указанном диапазоне значений нормальных напряжений с точностью до единиц процентов определяется выражением

$$\sigma_N \approx 0,5 \cdot \sigma_t + G \cdot \frac{\psi}{l} \cdot R_{\text{of}} \quad (6)$$

так что скорость нагружения при закручивании образца составляет

$$\dot{\sigma}_N = G \cdot \dot{\psi} \cdot \frac{R_{\text{of}}}{l}$$

Таким образом, скорость

нагружения $\dot{\sigma}_N$ оказывается постоянной (в

указанном диапазоне значений нормальных напряжений) при постоянной скорости закручивания образца $\dot{\psi}$. Условия (4) и (5)

являются необходимыми и достаточными для того, чтобы при испытаниях образцов волоконных световодов путем одновременного воздействия на них напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения не происходило потери устойчивости образцов и скорость их нагружения была постоянной (в указанном диапазоне значений нормальных напряжений) при постоянной скорости вращения электродвигателя привода 4. Объединение условий (4) и (5) дает условие

$$10^{-3} \cdot E \cdot \pi \cdot R_{\text{of}}^2 \leq W_{\text{car}} \leq 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot E \cdot \pi \cdot R_{\text{of}}^2 \quad (7)$$

Для стандартных кварцевых волоконных световодов диаметром 125 мкм условия (7) принимают вид

$$0,090 \text{ кгс} \leq W_{\text{car}} \leq 3,23 \text{ кгс} \quad (8)$$

Таким образом, предлагаемое устройство характеризуется новой совокупностью признаков, которая позволяет достичь нового технического свойства, не являющегося суммарным эффектом: выполнить испытания образцов волоконных световодов на механическую усталость путем одновременного воздействия на них напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения. Благодаря указанным выше существенным признакам устройство позволяет проводить испытания образцов волоконных световодов в различных средах, в частности в условиях 100% влажности, обеспечивает высокую точность получаемых результатов (не уступающую точности результатов при испытании образцов на разрывной машине) и постоянство скорости нагружения (в указанном диапазоне напряжений), необходимое для получения характеристик механической усталости.

По простоте и дешевизне предлагаемое устройство превосходит все известные устройства для выполнения усталостных испытаний волоконных световодов [1], а по точности и применимости для выполнения прогноза долговечности волоконных

световодов в различных эксплуатационных условиях не уступает разрывным машинам.

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ

Предлагаемое устройство для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость реализовано (см. фиг.3) и испытано. Стоимость конструкторских работ, работы по реализации устройства в металле и разработка программного обеспечения для управления устройством с помощью персонального компьютера составила около 3000 \$.

На верхней части вертикального основания 1 устройства расположен узел 2 с неподвижно закрепленным верхним зажимом. Узлы 2 и 3 верхнего и нижнего зажимов имеют направляющие, оси которых перпендикулярны оси вращения волокна, для совмещения с первыми направляющими соответствующих зажимов. Были реализованы направляющие типа "ласточкин хвост" и "гильза-направляющий стержень". Узел 2 приводится во вращение относительно вертикальной оси с помощью привода 4 на основе шагового двигателя ДШИ-200-3. Узел 3 с неподвижно закрепленным нижним зажимом представляет собой каретку 7, которая свободно перемещается в вертикальном направлении вдоль двух направляющих. В качестве одной направляющей используется вертикальное основание 1 устройства. Вторая направляющая 6 выполняет также функцию тяги индикатора 5 разрушения образца волоконного световода.

Для удобства работы оператора испытательное устройство имеет фиксатор, который ограничивает вертикальные перемещения узла 3. Фиксатор используется при установке в устройство зажимов с закрепленным в них образцом. Перед началом испытаний оператор с помощью фиксатора устанавливает узел 3 в таком положении, чтобы расстояние между верхним и нижним зажимами оказалось несколько меньше длины тестируемых образцов. При установке образца сначала надвигается по направляющим узла 2 верхний зажим. Затем по направляющим зафиксированного узла 3 надвигается нижний зажим. При этом образец не ограничивает необходимые перемещения зажимов и не мешает выполнять эти операции. Перед включением нагружающего двигателя оператор освобождает фиксатор и узел нижнего зажима 3 повисает на образце, создавая в последнем статическое растягивающее напряжение σ_t .

Электрическая часть индикатора разрушения образца волоконного световода расположена на верхней части вертикального основания устройства и представляет собой пару: светодиод - фотодиод. Световой поток от светодиода на фотодиод перекрывается с помощью непрозрачного лепестка, укрепленного на верхней части направляющей 6, которая может перемещаться в вертикальном направлении. Нижний и верхний концы направляющей прикреплены к пластинчатым пружинам 8, расположенным на нижней и верхней частях установки. Под действием пружин направляющая занимает положение, при котором лепесток перекрывает световой поток от светодиода к фотодиоду. После разрушения образца 9 каретка с нижним зажимом падает вниз, изгибает пружины и

сдвигает направляющую 6 так, что на фотодиод начинает поступать световой поток от светодиода. Вращение узла с нижним зажимом относительно вертикальной оси блокируется благодаря наличию двух указанных выше направляющих. В то же время направляющие не мешают вертикальному перемещению этого узла.

Устройство имеет струбцинонные зажимы для закрепления концов испытываемых образцов. На фиг.5 представлена принципиальная схема верхнего зажима и часть 10 узла верхнего зажима с направляющей 12 для свободного надвигания зажима. Конструктивно верхний и нижний зажимы одинаковы. Размеры зажимов подбирались таким образом, чтобы их центр тяжести был сдвинут относительно оси вращения верхнего зажима в направлении надвигания на направляющие узла верхнего зажима. Каждый зажим имеет корпус 11, первую направляющую 13 (совместимую с направляющей 12 узла верхнего или нижнего зажима) для быстрой установки зажима на испытательное устройство, прижимные винты 14. Вторые направляющие 15 и 16, фиксирующие конец образца 9 в двух точках: при входе в зажимающую струбцину и при выходе из нее, изготовлены из материала, не повреждающего образец (например, из капролона). Благодаря этому ось испытываемого волоконного световода совмещается с осью вращения верхнего зажима с ошибкой, не превышающей 0.1 мм, то есть менее радиуса образца (на фиг.5 изображены два прижимных винта; при необходимости их количество может быть увеличено).

Оператор управляет устройством и получает результаты испытания с помощью персонального компьютера.

Реализованные варианты конструкции узлов устройства не исчерпывают всех возможных конструктивных вариантов построения устройства. Например, вертикальное основание устройства может быть выполнено в виде трубы с вырезами для зажимов, индикатор разрушения образца волоконного световода может быть реализован с помощью герконов, управление устройством не обязательно должно осуществляться с помощью персонального компьютера и т.д.

Для оценки точности результатов испытаний было выполнено сравнение результатов измерения распределения прочности волоконных световодов на универсальной разрывной машине Instron-1122 и на устройстве для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость методом одновременного воздействия на них напряжениями динамического кручения и статического осевого растяжения. Два рандомизированных ансамбля образцов были нарезаны из одного и того же одномодового волоконного световода с двухслойным полимерным покрытием и испытаны на двух устройствах. Диаметр стеклянной части волоконного световода составлял 0.125 мм, наружный диаметр в покрытии был равен 0.255 мм. В качестве первичного покрытия использован полимер DeSolite 950-106, толщина покрытия составляла 0.04 мм. Материал вторичного покрытия - полимер

DeSolite 950-108, толщина покрытия 0.025 мм. При испытаниях использовался набор дополнительных грузов, которые навешивались на каретку 7 с нижним зажимом. Набор дополнительных грузов позволил перекрыть весь диапазон значений статического растяжения (8). Для того чтобы обеспечить возможность проведения испытаний в воде и других агрессивных средах, а также реализовать дополнительное усилие растяжения ~ 0.1 кгс, из титана были изготовлены специальные зажимы струбциночного типа с двумя прижимными винтами каждый.

Результаты испытаний при всех дополнительных грузах сведены вместе и представлены на фиг. 4 (экспериментальные точки, отмеченные знаком "о"). Здесь же для сравнения приведены результаты испытания второго ансамбля образцов на разрывной машине с барабанными зажимами (экспериментальные точки, отмеченные знаком "х"). На графике по оси абсцисс отложены значения разрывных усилий, эквивалентные измеренным значениям разрывных нормальных напряжений, а по оси ординат - вероятности Р разрушения образцов.

Из графиков на фиг.4 видно, что измеренные распределения прочности совпадают. Это означает, что точности измерения усталостных характеристик волоконных световодов на универсальной разрывной машине и с помощью предлагаемого устройства одинаковы во всем указанном выше диапазоне значений усилия статического растяжения образцов. С помощью предлагаемого устройства были измерены также распределения прочности волоконных световодов в условиях 100% влажности при различных скоростях нагружения. Эти измерения позволили получить значения параметров механической усталости волоконных световодов при различных внешних условиях и выполнить прогноз их долговечности. Устройство-прототип не позволяет получить такие результаты.

Литература

1. International Electrotechnical Commission. Draft International Standard 86A/302/DIS, Project number 86A/793-1-3/Ed.1.
2. William J. Kroenke. "Torsional testing techniques applied to fine diameter glass fibres". The Glass Industry, v. 47, 5, p.p. 262-266, 282-284, 1966.
3. С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. Теория упругости, М.: Наука, 1975.
4. И. В. Александров, М. Е. Жаботинский, С.Я. Фельд, О.Е. Шушпанов. "Оптимизация барабанных зажимов при статических и динамических испытаниях волоконных световодов". - Журнал технической физики, т. 61, 11, стр. 140-150 (1991).

Формула изобретения:

Устройство для испытаний образцов волоконных световодов на механическую усталость, содержащее вертикальное основание, узел с неподвижно закрепленным верхним зажимом (для фиксации верхнего конца испытываемого образца), узел с неподвижно закрепленным нижним зажимом (для фиксации нижнего конца образца), верхний и нижний зажимы струбциночного типа для фиксации концов образца,

отличающееся тем, что устройство имеет привод для прецизионного управляемого вращения узла верхнего зажима относительно вертикальной оси, индикатор разрушения образца волоконного световода, размещенный в верхней части вертикального основания устройства, направляющие, которые обеспечивают свободное перемещение узла нижнего зажима в вертикальном направлении и препятствуют его вращению относительно вертикальной оси, узлы верхнего и нижнего зажимов снабжены направляющими, оси которых перпендикулярны оси вращения волоконного световода, для свободного надвигания по ним

5

10

15

20

25

30

35

40

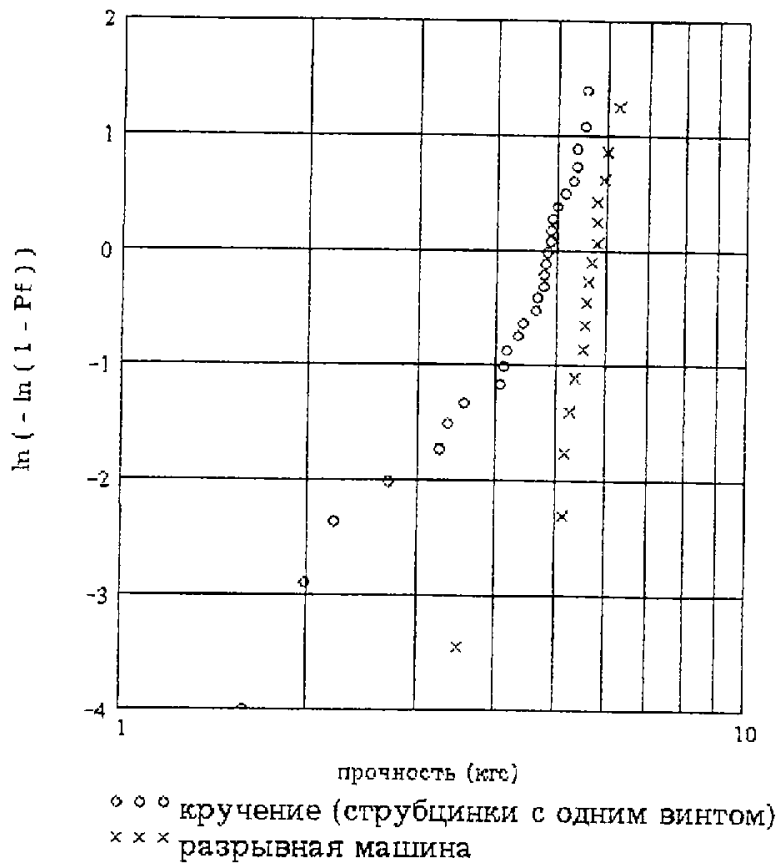
45

50

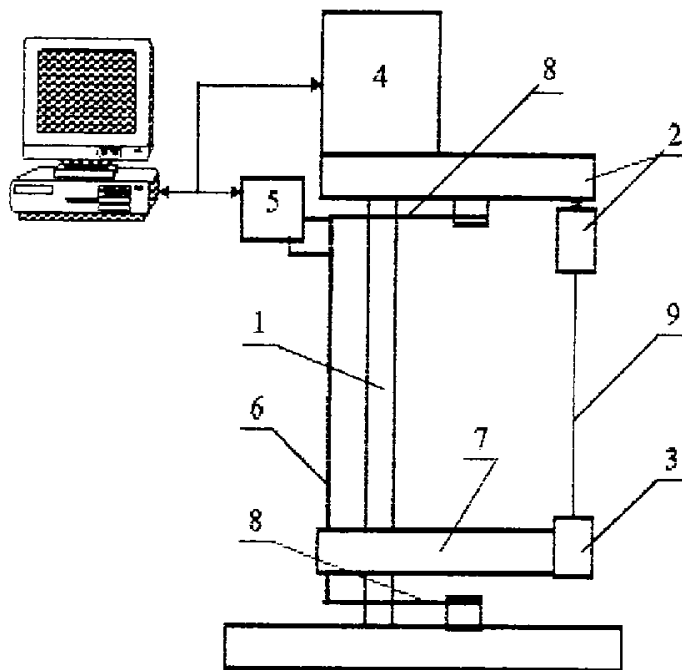
55

60

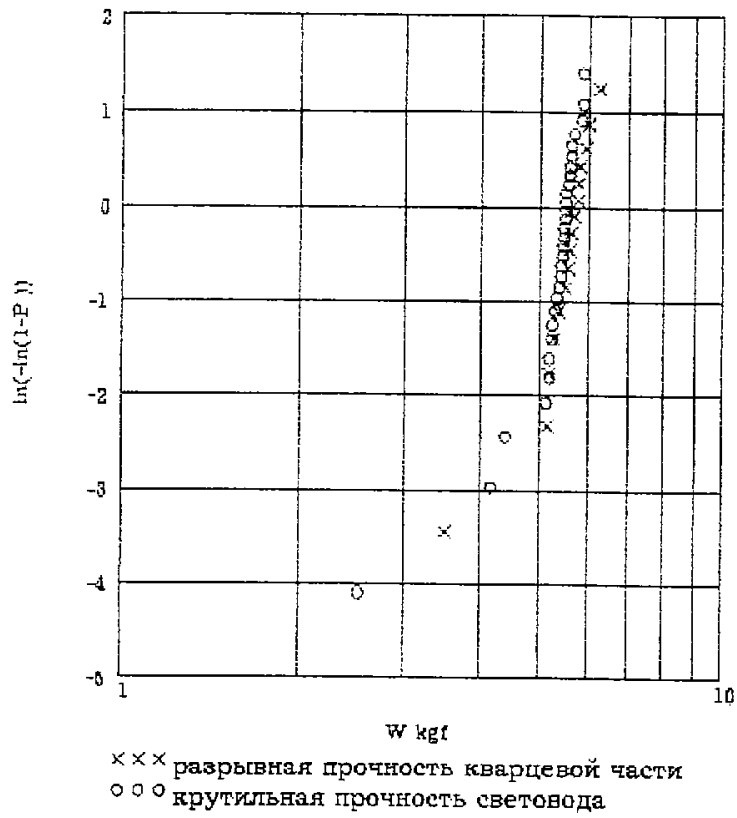
соответствующих зажимов, верхний и нижний зажимы имеют первые направляющие для совмещения с направляющими узлов верхнего и нижнего зажимов, зажимы снабжены двумя или более прижимными винтами для фиксации образца, верхний и нижний зажимы имеют вторые направляющие для совмещения оси образца волоконного световода с осью вращения верхнего зажима, вес узла нижнего зажима W_{car} выбран таким, чтобы выполнялось условие $0,090 \text{ кгс} \leq W_{car} \leq 3,23 \text{ кгс}$, центр тяжести верхнего зажима смещен относительно оси его вращения в сторону надвигания зажима.



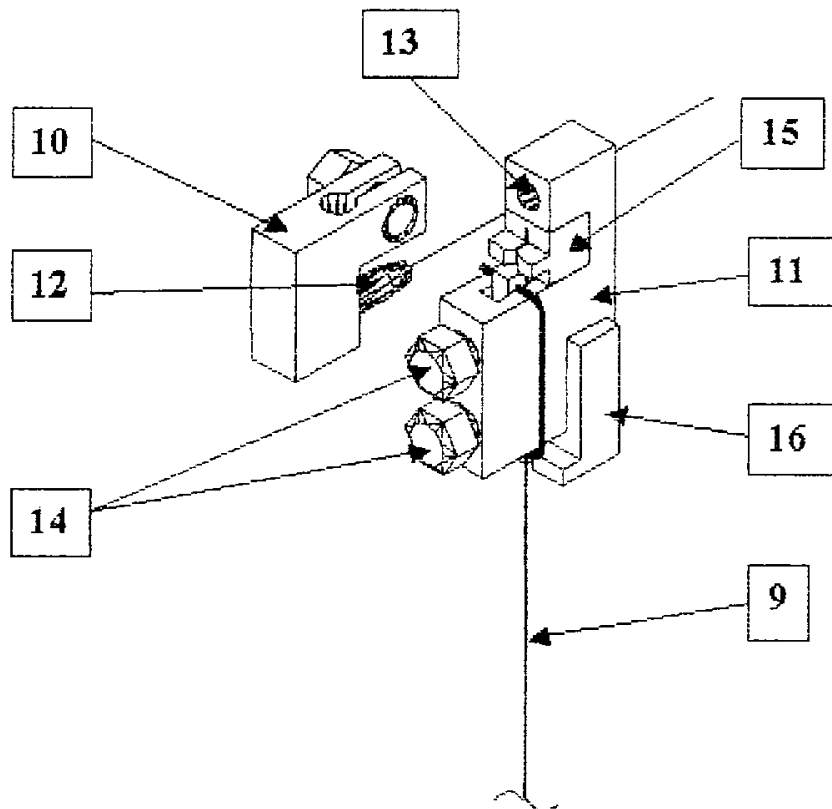
Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5