

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046059**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.02.02**

(51) Int. Cl. **G01N 3/56 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**202392265**

(22) Дата подачи заявки  
**2023.07.19**

---

(54) **СПОСОБ ИСПЫТАНИЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ**

---

(43) **2024.01.26**

(56) BY-C1-18971  
SU-A1-1288547  
RU-C2-2482464  
US-4211057

(96) **2023/EA/0036 (BY) 2023.07.19**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК БЕЛАРУСИ" (BY)**

(72) Изобретатель:  
**Басинюк Владимир Леонидович,  
Тычинская Ирина Дмитриевна,  
Волкотруб Рита Евгеньевна,  
Глазунова Анна Александровна,  
Лобкова Майя Петровна (BY)**

(74) Представитель:  
**Боковец Е.Н. (BY)**

---

(57) Изобретение относится к области определения триботехнических свойств пары трения, а именно к способам определения износостойкости и коэффициента трения при трении по принципу скольжения вращающегося вала по неподвижной колодке, в рассматриваемом случае изготовленной преимущественно из антифрикционных композиционных материалов для высокоскоростных подшипников скольжения, и пары трения "стальной закаленный шлифованный вал с твердостью 56..63 HRC - колодка из антифрикционного порошкового наноструктурированного композита". Задачей изобретения является повышение информативности и точности результатов испытаний. Для решения поставленной задачи в способе испытаний, при котором к вращающемуся цилиндрическому образцу посредством системы нагружения прижимают с заданным усилием контрообразец, осуществляют контроль частоты вращения, усилия прижатия цилиндрического образца к контрообразцу, величины трения при их взаимодействии и суммарный износ испытываемого образца и контрообразца по их сближению, регистрируемому со стороны контрообразца датчиком линейных перемещений, при этом для контроля усилия прижима используют упруго-деформируемый S-образный датчик и одновременно с контролем силы прижатия контрообразца к цилиндрическому образцу с помощью его контролируют перемещение цилиндрического образца в направлении силы прижатия контрообразца к цилиндрическому образцу, а суммарный износ испытываемого образца и контрообразца определяют с учетом разницы между регистрируемыми перемещениями цилиндрического образца и контрообразца в направлении действия сил прижатия, что позволяет учесть упругие деформации механической системы и на основе этого существенно повысить информативность и точность испытаний.

---

**B1**

**046059**

**046059**

**B1**

Изобретение относится к области определения триботехнических свойств пары трения, а именно к способу определения износостойкости и коэффициента трения при трении по принципу скольжения вращающегося вала по неподвижной колодке, изготовленной преимущественно из антифрикционных композиционных металлических материалов для высокоскоростных подшипников скольжения, и пары трения "стальной закаленный шлифованный вал твердостью 56...63 HRC - колодка из антифрикционного порошкового наноструктурированного композита".

В настоящее время для высокоскоростных подшипников скольжения созданы антифрикционные порошковые наноструктурированные композиты, способные при определенных удельных давлениях работать при скоростях скольжения, существенно превышающих  $V=8...10$  м/с и более. Вместе с тем, для их успешного применения в инженерной практике необходимо знать характеристику  $p$   $V$ , при которой сохраняется их работоспособность, а также коэффициент трения скольжения.

Известны способы триботехнических испытаний пары трения скольжения, при которых определяется износостойкость и коэффициент трения при взаимодействии прижатой с определенной силой к вращающемуся с заданной скоростью валу колодки, при этом износостойкость определяется путем контроля изменения размеров трущихся поверхностей или веса вала и колодки после совершения валом заданного числа оборотов при постоянной нагрузке и частоте вращения вала [1-3].

К существенному недостатку этого способа можно отнести то, что для контроля изменения размеров или веса, как правило, необходима разборка стенда, поэтому при широком диапазоне усилий прижатия и частот вращения испытания носят продолжительный характер. Они трудоемки и мало информативны.

Известны способы, позволяющие ускорить процесс испытаний и упростить измерение величины износа, при которых ускорение испытаний достигается путем непрерывного измерения в ходе испытаний площадки контакта, что позволяет контролировать не глубину изношенного слоя, а размеры площадки контакта, скорость изменения которой, вследствие конструктивных особенностей образцов, существенно выше [4]. Однако и в этом случае для широкого диапазона нагрузок и частот вращения испытания носят длительный характер, а их проведение остается трудоемким и мало информативным.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому, является выбранный в качестве прототипа способ испытаний [5], при котором цилиндрический образец приводится во вращение электроприводом, после чего к его рабочей поверхности посредством системы нагружения прижимают с заданным усилием контрообразец, осуществляют контроль частоты вращения, усилия прижатия, силы трения и сближение осей испытываемого образца и контрообразца, характеризующее их износ. Сближение осей контролируется с помощью индуктивного или емкостного датчика линейных перемещений.

Введение в процесс испытаний контроля силы трения и сближения осей испытываемого образца и контрообразца позволяет существенно ускорить процесс проведения испытаний в широком диапазоне усилий прижатия и скоростей скольжения. Однако, при этом не учитывается то, что упругая деформация подшипниковых опор образца и контрообразца и поверхностей контакта приводит к существенным отклонениям от действительной регистрируемой величины износа. Кроме того, в данном способе сила трения регистрируется посредством датчика силы, связанного с системой крепления контрообразца. При этом не учитываются потери в подвижных соединениях этой системы, что, в совокупности, обуславливает снижение информативности и точности испытаний.

Цель изобретения - повышение информативности и точности испытаний.

Поставленная цель достигается тем, что в способе испытаний пары трения, при котором цилиндрический образец приводят во вращение электроприводом, после чего к его рабочей поверхности посредством системы нагружения прижимают с заданным усилием контрообразец, осуществляют контроль частоты вращения, усилие прижатия образца к контрообразцу, величину силы трения при их взаимодействии и суммарный износ испытываемого образца и контрообразца по их сближению, измеряемому с помощью установленного со стороны контрообразца датчика линейных перемещений индуктивного или емкостного типа, согласно изобретению для контроля усилия прижатия контрообразца к испытываемому образцу используют упруго деформируемый датчик в направлении действия усилия прижатия, например, S-образный тензорезисторный датчик типа С2А, при этом датчик линейных перемещений устанавливают со стороны контрообразца, а упруго деформируемый датчик устанавливают со стороны цилиндрического образца, противоположной действию усилия прижатия контрообразца к образцу, и предварительно, до начала вращения цилиндрического образца, определяют зависимость между регистрируемым упруго деформируемым датчиком усилием и его упругой деформацией и перед тем, как цилиндрический образец будет приведен во вращение контрообразец прижимают к образцу с заданным усилием и измеряют с помощью датчика линейных перемещений суммарную упругую деформацию системы нагружения, а после приведения образца во вращение суммарный износ цилиндрического образца и контрообразца определяют с учетом деформации упруго деформируемого датчика и суммарной упругой деформации системы нагружения, при этом величину трения определяют по моменту трения, соответствующему сопротивлению вращению цилиндрического образца, который регистрируют датчиком крутящих моментов момента, который размещают между цилиндрическим образцом и электроприводом его вращения и жестко связывают муфтами.

Повышение информативности и точности испытаний обеспечивается за счет того, что:

суммарный износ цилиндрического образца и контробразца определяют с учетом упругой деформации упруго деформируемого датчика и суммарной упругой деформации системы нагружения;

силу трения определяют по непосредственно измеренному датчиком моментом сопротивления вращению цилиндрического образца, возникающему вследствие трения в испытываемой паре, причем датчик крутящих моментов размещают между образцом и электроприводом его вращения и жестко связывают с ними, что позволяет исключить промежуточные звенья.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1-7.

На фиг. 1 показан упруго-деформируемый S-образный тензорезистор-ный датчик типа С2А.

На фиг. 2 показана схема определения зависимости между регистрируемым упруго-деформируемым S-образным тензорезисторным датчиком усилием и его упругой деформацией.

На фиг. 3 показана схема проведения испытаний и контроля сближения цилиндрического образца и контробразца.

На фиг. 4 показана схема прижатия контробразца к цилиндрическому образцу.

На фиг. 5 показан узел универсальной гидравлической испытательной машины INSTRON Satec 300LX, в котором предварительно, перед проведением испытаний, определялась зависимость между регистрируемым упруго деформируемым датчиком усилием и его упругой деформацией.

На фиг. 6 показан график экспериментальной зависимости, связывающей упругую деформацию S-образный тензорезисторного датчика с регистрируемым им усилием.

На фиг. 7 показан график экспериментальной зависимости, связывающей упругую деформацию механической системы в направлении усилия прижима контробразца к цилиндрическому образцу.

Заявляемый способ поясняется следующим.

Упруго-деформируемый S-образный тензорезисторный датчик 1 типа С2А (фиг. 1) устанавливают на жесткую опору (не показана) и нагружают силой  $p_i$  (фиг. 2), варьирующей в диапазоне планируемых усилий нагружения  $p$ , и фиксируют соответствующие этим усилиям упругие деформации  $\delta_{i1}$ . После этого с использованием, например, метода наименьших квадратов [6], определяют параметры аналитической корреляционной зависимости между  $\delta_1$  и  $p$  в диапазоне планируемых усилий нагружения.

Затем (фиг. 3) цилиндрический образец 2 устанавливают в скобе 3 с подшипниковыми узлами 3а и 3б на основе подшипников качения. Скобу 3 размещают и жестко связывают, например, резьбовым соединением с опорной поверхностью 1б (фиг. 1) упруго-деформируемого S-образного тензорезисторного датчика 1.

После этого цилиндрический образец 2 жестко фиксируют в цанге 4, жестко связанной с последовательно соединенными с электроприводом 5 муфтой 6, датчиком моментов 7 и муфтой 8. Одновременно с этим S-образный тензорезисторный датчик 1 устанавливают на станину стенда (не показана) для проведения испытаний и жестко связывают с ней посредством, например, резьбового соединения.

Затем контробразец 9 (фиг. 3) подводят к цилиндрическому образцу 2 до касания с ним и не вращая цилиндрический образец 2 осуществляют прижатие к нему контробразца 9 через пуансон 10, в котором установлен контробразец 10, силой  $p$ , варьирующей в требуемом для испытаний диапазоне нагрузок. Одновременно с этим регистрируют датчиком 1 значения силы  $p$  и датчиком линейных перемещений 11 соответствующие ей линейные перемещения  $\Delta_m$  пуансона 10, соответствующие суммарной упругой деформации механической системы (не показана) и упругой деформации  $\delta_1$  S-образного тензорезисторного датчика 1. После этого определяют упругую деформацию механической системы  $\delta_2 = \Delta_m - \delta_1$ . С использованием полученных значений  $\delta_2$  методом наименьших квадратов определяют параметры аналитической корреляционной зависимости между упругими деформациями механической системы (не показана)  $\delta_2$  и  $p$ .

В процессе проведения испытаний в заданном диапазоне частот вращения  $n$  (скоростей скольжения  $V$ ) цилиндрического образца 2 и усилий прижатия  $p$  контробразца 9 к цилиндрическому образцу 2 через заданное число его оборотов  $n$  (отрезков пути трения  $L = \pi \cdot d \cdot N$ , где  $d = 3,1415\dots$ ,  $N$  - число полных оборотов образца) датчиком линейных перемещений 11 регистрируют значения перемещения  $\Delta_i$  пуансона 10 в направлении действия силы  $p$ . Затем по значению  $p$  определяют  $\delta_{1i}$  и  $\dots_{2i}$  и по их величинам рассчитывают величины износов  $h_i = \Delta_i - \delta_{1i} - \delta_{2i}$ , соответствующее сочетанию  $V_i$  и  $p_i$ . После чего по моментам  $T_i$  трения и величинам износа  $h_i$  определяют коэффициенты трения  $f_{Vp_i} = 2T_i/d$  и интенсивность изнашивания  $j_{Vp_i} = h_i/L$  пары трения, соответствующие скоростным и нагрузочным режимам  $V_i$  и  $p_i$ .

Пример осуществления способа.

Испытывалась пара трения с цилиндрическим шлифованным образцом 2 диаметром  $\varnothing 20$  мм из стали ШХ15, закаленной до твердости HRC61...63, и контртелом 9 в виде колодки (фиг. 4), выполненным из композиционного антифрикционного порошкового композита на основе бронзы в виде колодки. Испытания проводились при частотах вращения цилиндрического образца  $n_1 = 5750 \text{ мин}^{-1}$  и  $n_2 = 9550 \text{ мин}^{-1}$ , соответствующих скоростям скольжения  $V_1 = 6 \text{ м/с}$  и  $V_2 = 10 \text{ м/с}$  при усилиях прижатия  $p$  контробразца 9 к цилиндрическому образцу 2, равных  $p_1 = 600 \text{ Н}$  и  $p_2 = 2000 \text{ Н}$ . В качестве базового был принят путь трения  $L = 3000 \text{ м}$ , соответствующий  $N = 47800$  оборотов цилиндрического образца 2, или по времени при  $n_1 - t_1 = 8 \text{ мин}$  20 с, при  $n_2 - t_2 = 5 \text{ мин}$  (контроль и изменение режимов испытаний на стенде осуществ-

лялись автоматизированно).

Для проведения испытаний с одновременным контролем усилий прижатия  $p$  контрообразца 9 к цилиндрическому образцу 2 был использован упруго-деформируемый S-образный тензорезисторный датчик 1 модели C2A-0,20-C1 (фиг. 1) с диапазоном допустимых нагрузок до 2000Н. Для контроля линейных перемещений пуансона 10 в направлении действия силы  $p$  в качестве датчика 11 был использован преобразователь измерительный линейных перемещений индуктивный LVDT с разрешающей способностью 1 мкм и диапазоном регистрируемых параметров 0...2 мм.

Упруго-деформируемый S-образный тензорезисторный датчик 1 модели C2A-0,20-C1 был установлен основанием 1а (фиг. 1) на опорную площадку 12 универсальной гидравлической испытательной машины 13 (фиг. 5) INSTRON Satec 300LX и нагружен со стороны площадки 16 (фиг. 1) плавно увеличивающейся нагрузкой в диапазоне 600...2000 Н (~60...200 кГс) с регистрацией универсальной гидравлической испытательной машиной 13 (фиг. 2) INSTRON Satec 300LX через контроллер 14 на ПЭВМ 15 значений упругих деформаций  $\delta_1$ . Одновременно с этим S-образным тензорезисторным датчиком 1 через входящий в его комплект контроллер 16 осуществлялась фиксация на ПЭВМ 15 значений усилий  $p$ . Затем с использованием метода наименьших квадратов были определены параметры аналитической корреляционной зависимости между  $\delta_1$  и  $p$  (фиг. 6)

$$\delta_1 = a_1 + b_1 p, \quad (1)$$

где  $a_1=11,7$  мкм,  $b_1=0,0081$  мкм/Н при среднем квадратическом отклонении от коррелирующей прямой 0,13 мкм и коэффициенте вариации 0,6%.

С учетом полученных результатов были рассчитаны значения  $\delta_1$  для  $p_1=600$  Н, равное  $\delta_{11}=17$  мкм, и для  $p_2=2000$  Н, равное  $\delta_{12}=29$  мкм.

После этого цилиндрический образец 2 был установлен в подшипниковые узлы 3а и 3б (фиг. 3) скобы 3 и жестко зафиксирован в канге 4. К нему был подведен до касания контрообразец 9, выполненный в виде установленной в нажимном пуансоне 10 колодки (фиг. 4) с радиусом обращенной к цилиндрическому образцу 2 поверхностью 10 мм (не показана), соответствующим радиусу цилиндрического образца 2.

До начала вращения цилиндрического образца 2 определялась зависимость между регистрируемым упруго деформируемым датчиком усилием и его упругой деформацией, а до начала вращения цилиндрического образца к нему прижимают контрообразец с заданными усилиями, равными  $p_1=600$  Н и  $p_2=2000$  Н с одновременной регистрацией установленным с возможностью контроля перемещений в направлении силы  $p$  нажимного пуансона 12 датчиком линейных перемещений 17 соответствующих силе  $p$  линейных перемещений  $\delta_{21}$  и  $\delta_{22}$  (определялись с учетом упругой деформации S-образного тензорезисторного датчика 1 модели C2A-0,20-C1). По полученным результатам методом наименьших квадратов определяются параметры аналитической корреляционной зависимости между  $\delta_2$  и  $p$

$$\delta_2 = a_2 + b_2 p, \quad (2)$$

где  $a_2=43,6$  мкм,  $b_2=0,03$  мкм/Н при среднем квадратическом отклонении от коррелирующей прямой 1,34 мкм и коэффициенте вариации 1,48%.

Рассчитывались значения  $\delta_2$  для  $p_2=600$  Н, равное  $\delta_{21}=62$  мкм, и для  $p_2=2000$  Н, равное  $\delta_{12}=104$  мкм.

Все расчеты и управление процессом испытаний осуществлялись автоматизированно с помощью программно-аппаратных средств испытательного стенда.

Затем контрообразец 9 прижимался к цилиндрическому образцу 2 с силой  $p_1=600$  Н и приводился во вращение с частотой  $n_1=5800$  мин<sup>-1</sup>, соответствующей скорости скольжения  $V=6$  м/с. Испытания на данных режимах проводились в течение  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2, т.е. по времени  $t_1=8$  мин 14 с. При проведении испытаний пары трения из образца 2 и контрообразца 9 датчиком 11 линейных перемещений и упруго-деформируемым S-образным тензорезисторным датчиком 1 модели C2A-0,20-C1 постоянно, по мере износа цилиндрического образца 2 и контрообразца 9, автоматизированно поддерживалась сила  $p_1=600$  Н и регистрировались величина смещения нажимного пуансона 10 в направлении действия силы  $p_1$ , после проведения испытаний в течение 8 мин 14 с, равная  $\Delta_{m1}=0,096$  мм и момент трения  $T_1=0,96$  Нм. После завершения  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2 автоматизированно рассчитывались значение величины износа  $h_1=\Delta_1-\delta_{11}-\delta_{21}=0,017$  мм и, с ее использованием, интенсивность изнашивания  $j_{VP1}=h_1/L=5,7 \cdot 10^{-6}$  мм/м, а также по среднему значению момента трения  $T_1$  - рассчитывался коэффициент трения  $f_{VP1}=2T_1/(pd)=0,16$ , соответствующий сочетанию  $V_1$  и  $p_1$ ; для рассматриваемой пары трения.

Затем без остановки стенда в течение 2...3 с частота вращения цилиндрического образца 2 была увеличена до  $p_2=9550$  мин<sup>-1</sup>, соответствующей скорости скольжения  $V=10$  м/с, и при нагрузке  $p_1=600$  Н в течение  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2, т.е. времени  $t_2=5$  мин, были проведены испытания пары трения из образца 2 и контрообразца 9. При этом датчиками 1 и 11 при постоянно поддерживаемой силе  $p_1=600$  Н по мере износа цилиндрического образца 2 и контрообразца 9 регистрировались величина смещения  $\delta_{m2}$  нажимного пуансона 10 в направлении действия силы  $p_1$  и момент трения  $T_2$ . После завершения  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2 автоматизированно величина  $\Delta_{m2}$  и средняя величина

на момента трения составили соответственно равны  $\Delta_{m2}=0,091$  мм и  $T_2=0,74$  Нм. По ним рассчитывались значение величины износа  $h_2=\Delta_2-\delta_{12}-\delta_{22}=0,012$  мм и, с ее использованием, интенсивность изнашивания  $j_{VP2}=h_2/L=4\cdot 10^{-6}$  мм/м, а также по среднему значению момента трения  $T_2$  - коэффициент трения  $f_{VP2}=2T_2/(pd)=0,12$ , соответствующие сочетанию  $V_2$  и  $p_1$  для рассматриваемой пары трения.

После этого без остановки стенда в течение 10... 12 с при частоте вращения цилиндрического образца 2  $n_2=9550$  мин<sup>-1</sup> и соответствующей скорости скольжения  $V=10$  м/с нагрузка была увеличена до  $P_2=2000$  Н и в течение  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2, т.е. времени  $t_2=5$  мин, были проведены испытания пары трения из образца 2 и контрообразца 9. При этом датчиками 1 и 11 при постоянно поддерживаемой силе  $p_2=2000$  Н по мере износа цилиндрического образца 2 и контрообразца 9 регистрировались величина смещения  $\Delta_{m3}$  нажимного пуансона 10 в направлении действия силы  $p_2$  и момент трения  $T_3$ . После завершения  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2 автоматизированно рассчитывались значение величины износа  $h_3=\Delta_3-\delta_{13}-\delta_{23}=0,031$  мм и, с ее использованием, интенсивность изнашивания  $j_{VP3}=h_3/L=10\cdot 10^{-6}$  мм/м, а также по среднему значению момента трения  $T_3=2,8$  Нм, - коэффициент трения  $f_{VP3}=2T_3/(pd)=0,14$ , соответствующие сочетанию  $V_2$  и  $p_2$  для рассматриваемой пары трения.

Затем без остановки стенда в течение 3.. 4 с частота вращения цилиндрического образца 2 была уменьшена до  $n_1=5800$  мин<sup>-1</sup> и соответствующей скорости скольжения  $V=10$  м/с при нагрузке  $p_2=2000$  Н в течение  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2, т.е. времени  $t_4=8$  мин 14 с, были проведены испытания пары трения из образца 2 и контрообразца 9. При этом датчиками 1 и 11 при постоянно поддерживаемой силе  $p_2=2000$  Н по мере износа цилиндрического образца 2 и контрообразца 9 регистрировались величина смещения  $\delta_{m4}=0,172$  мм нажимного пуансона 10 в направлении действия силы  $p_2$  и момент трения  $T_4$ . После завершения  $N=47800$  оборотов цилиндрического образца 2 автоматизированно рассчитывались значение величины износа  $h_4=\Delta_4-\delta_{14}-\delta_{24}=0,039$  мм и, с ее использованием, интенсивность изнашивания  $j_{VP4}=h_4/L=13\cdot 10^{-6}$  мм/м, а также по среднему значению момента трения  $T_4$ , равного  $T_4=3,4$  Нм - коэффициент трения  $f_{VP4}=2T_4/(pd)=0,17$ , соответствующие сочетанию  $V_1$  и  $p_2$  для рассматриваемой пары трения.

Таким образом, в течение ~30 мин были получены уточненные данные об интенсивности изнашивания (износостойкости) и коэффициентах трения пары трения сталь ШХ15, закаленная до твердости HRC61...63, и композиционный антифрикционный порошок композит на основе бронзы в диапазоне скоростей нагрузок при скоростях скольжения  $V=6...10$  м/с и усилиях прижатия контрообразца к цилиндрическому образцу  $p=600...2000$  Н.

Принятые обозначения:

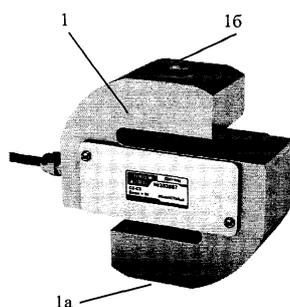
- 1 - упруго-деформируемый S-образный тензорезисторный датчик типа C2A-0,20-C1;
- 2 - цилиндрический образец;
- 3 - подшипниковые узлы 3 с подшипниками качения (не показаны);
- 4 - цапга для крепления цилиндрического образца 2;
- 5 -электропривод вращения цилиндрического образца 2;
- 6 - муфта, связанная с цапгой 4;
- 7 - датчик крутящих моментов, связанный с муфтой 6;
- 8 - муфта связанная с датчиком крутящих моментов 7;
- 9 - контрообразец;
- 10 - пуансон, в котором установлен контрообразец 9;
- 11 - датчик линейных перемещений;
- 12 - опорная площадка универсальной гидравлической испытательной машины;
- 13 - универсальная гидравлическая испытательная машина INSTRON Satec 300LX;
- 14 - контроллер универсальной гидравлической испытательной машины INSTRON Satec 300LX;
- 15 - ПЭВМ;
- 16 - контроллер iS-образного тензорезисторного датчика 1.

Источники информации.

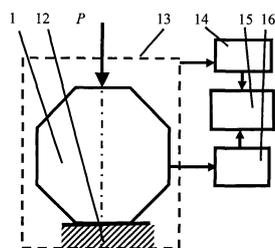
1. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. - М. Металлургия. - 350 с (стр. 196-200).
2. Способ испытания материалов на износостойкость. Патент RU 2082149. G01 N3/56. Заявка от 1992.05.21 № 5047749/28; опубл. 1997.06.20.
3. Патент Германии № 416880 от 28.10.1922, кл. 42К 38-01.
4. Костецкий Б.И. Износостойкость материалов, М. Машиностроение, 1980.-52 с.
5. Центр для износоусталостных испытаний: пат. ЕА 040211 G01 N3/56. Заявка от 2022.05.04 № 201900229; опубл. 2022.05.04.
6. Надежность машин: Учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова. - М.: Высш.шк., 1988. - 238 с.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

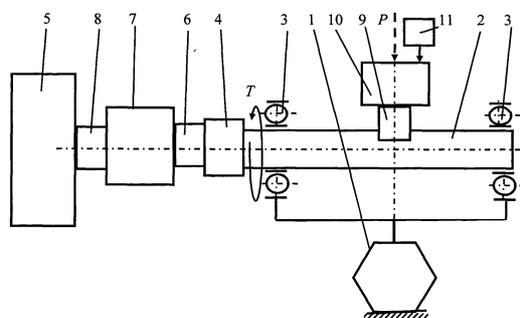
Способ испытаний пары трения, при котором цилиндрический образец приводят во вращение электроприводом, после чего к его рабочей поверхности посредством системы нагружения прижимают с заданным усилием контробразец, осуществляют контроль частоты вращения, усилия прижатия цилиндрического образца к контробразцу, величину коэффициента трения при их взаимодействии и суммарный износ испытываемого цилиндрического образца и контробразца, определяемый по их сближению, измеряемому с помощью установленного со стороны контробразца датчика линейных перемещений, отличающийся тем, что для контроля усилия прижатия контробразца к цилиндрическому образцу используют упруго деформируемый в направлении действия усилия прижатия датчик, например, S-образный тензорезисторный датчик типа С2А, при этом упруго деформируемый датчик устанавливают со стороны цилиндрического образца, противоположной действию усилия прижатия контробразца к цилиндрическому образцу, и предварительно, перед проведением испытаний до начала вращения цилиндрического образца, определяют зависимость между регистрируемым упруго деформируемым датчиком усилием и его упругой деформации, а перед началом вращения цилиндрического образца к нему прижимают контробразец с заданным усилием и измеряют с помощью датчика линейных перемещений суммарную упругую деформацию системы нагружения и после приведения цилиндрического образца во вращение суммарный износ цилиндрического образца и контробразца определяют с учетом упругой деформации упруго деформируемого датчика и суммарной упругой деформации системы нагружения, при этом величину трения определяют по моменту трения, соответствующему сопротивлению вращения цилиндрического образца, который регистрируют датчиком крутящих моментов, который размещают между цилиндрическим образцом и электроприводом его вращения и жестко связывают муфтами.



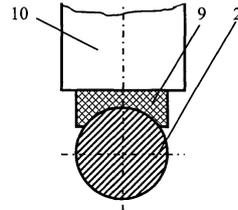
Фиг. 1



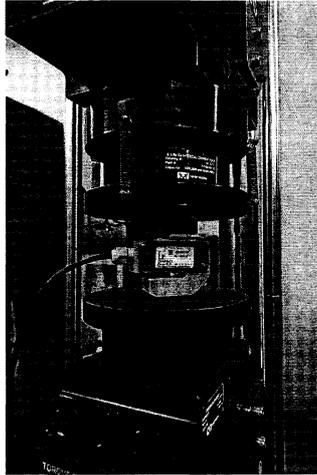
Фиг. 2



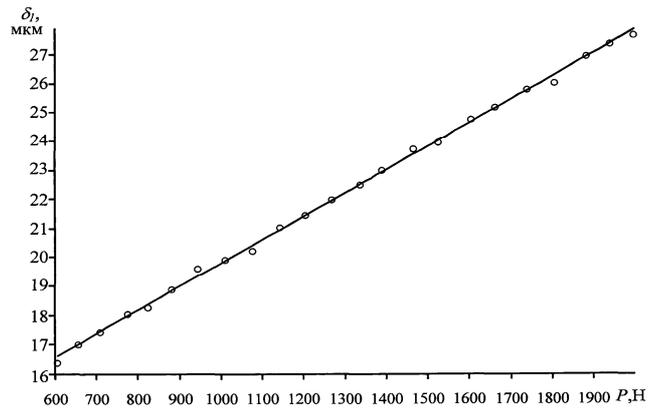
Фиг. 3



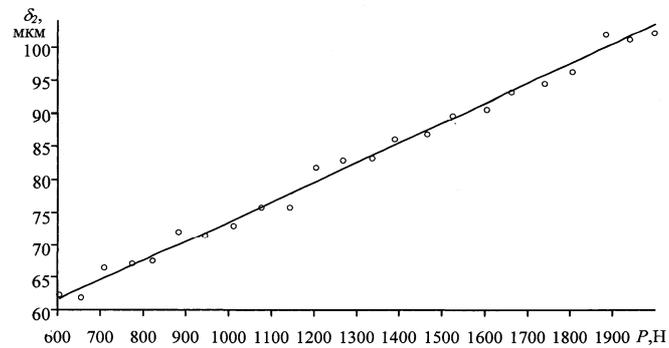
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7