

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040211**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.05.04

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

(21) Номер заявки
201900229

(22) Дата подачи заявки
2019.03.20

(54) ЦЕНТР ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

(43) **2020.09.30**

(56) RU-C1-2091751
SU-A1-1668914
SU-A1-1778620
CN-A-1936536

(96) **2019/ЕА/0031 (ВУ) 2019.03.20**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (БГУ) (ВУ)**

(72) Изобретатель:
**Богданович Александр
Вольдемарович, Журавков
Михаил Анатольевич, Щербаков
Сергей Сергеевич, Сосновский
Леонид Адамович, Басинюк
Владимир Леонидович, Еловой Олег
Михайлович (ВУ)**

(57) Изобретение относится к испытательному оборудованию, в частности к машинам для механических испытаний образцов из различных материалов, и может быть использовано для экспериментальной оценки характеристик сопротивления разрушению механических систем, в которых реализуется трение скольжения или трение качения и которые одновременно воспринимают повторно-переменную неконтактную нагрузку. Задачей изобретения является создание компактного малогабаритного центра с повышенным ресурсом для износоусталостных испытаний материалов на образцах малых размеров диаметром рабочей части от 6 мм в виде периферийного устройства к компьютеру с оригинальными программным обеспечением и информационно-управляющей системой. Поставленная задача достигается тем, что элементы информационно-управляющей и электросиловой систем центра для износоусталостных испытаний материалов размещены в установке испытательной с уменьшенными до 600×320×420 мм³ габаритными размерами и сниженным до 1,0 кВт энергопотреблении, а испытания материалов реализуют на малоразмерных контрообразцах и цилиндрических образцах диаметром от 6 мм, повышение ресурса обеспечивается уменьшением абсолютных величин контактной и изгибной нагрузок при одновременном увеличении соответствующих максимальных напряжений в образце.

B1**040211****040211****B1**

Изобретение относится к испытательному оборудованию и, в частности, к машинам для механических испытаний образцов из различных материалов и может быть использовано для экспериментальной оценки работоспособности и характеристик сопротивления разрушению механических систем, в которых реализуется трение скольжения или трение качения и которые одновременно воспринимают повторно-переменную неконтактную нагрузку.

Известна машина для испытания материалов на знакопеременный изгиб и переменные контактные напряжения [1], содержащая станину, укрепленные на ней стойки и корпус, установленный в нем шпиндель передает вращение с помощью редуктора на счетчик оборотов, электромотор, установленный на отдельной тумбе и соединенный со шпинделем упругой муфтой, два кольцевых образца, укрепленных с двух сторон фасонными гайками на конусной втулке, установленной конусной частью на конусе шпинделя машины; образцы обкатываются четырьмя нажимными роликами с цилиндрической и конической поверхностями катания; ролики соединяются в цепь, которая одним концом крепится на кронштейне стоек, а второй конец соединен с одним плечом двуплечего рычага, на другом плече рычага подвешиваются грузы для создания контактных и изгибающих напряжений в образце. На этой машине моделируются условия работы системы "колесо-рельс": контактные напряжения на поверхности катания образцов, имитирующие одно- и двухточечное касание колеса с рельсом при качении в кривых влиянием и одновременно знакопеременные напряжения изгиба в образцах.

Однако машина, описанная в [1], имеет ряд существенных недостатков, которые ограничивают области ее возможного применения и затрудняют практическое использование на практике, поскольку в этой машине: моделируются определенные (и ограниченные) условия работы только одной механической системы "колесо - рельс"; не обеспечиваются другие виды и режимы трения, характерные для иных механических систем; создаются только постоянные по величине нагрузки в образцах во время всего испытания; отсутствует система измерения износа (или сближения осей образца и контробразцов-роликов); не предусмотрены решения по автоматизации испытаний; имеет место невысокий к.п.д. в виду наличия механических передач; относительно большие размеры образцов. Кроме того, машина является массивной и громоздкой.

Наиболее близкой к предлагаемому испытательному центру является универсальная машина СИ для износоусталостных испытаний материалов и моделей силовых систем [2], которая состоит из следующих основных частей: установки испытательной с узлами и механизмами для закрепления и испытания образцов или моделей силовых систем; электросиловой системы, включающей электрошкаф с силовой, коммутационной и пускорегулирующей аппаратурой; информационно-управляющей системы, размещенной в шкафу управления с контрольно-измерительными приборами, аппаратурой управления и сигнализации. Установка испытательная содержит: станину, на верхней плоскости которой смонтирован привод образца с электродвигателем, датчик измерения момента трения, стойку со шпинделем, привод контробразца с электродвигателем и гибким валом; внутри станины расположены механизм нагружения изгибающей нагрузкой и электрооборудование нагружателей, на задней стенке станины закреплен электромеханизм нагружения контактной нагрузкой; на лицевой стороне станины размещена панель управления механизмами нагружения в наладочном режиме; верхняя часть установки закрыта откидывающимися кожухами. При испытаниях электродвигатель привода образца через две упругие муфты и датчик момента трения вращает вал шпинделя, в котором закреплен испытываемый образец; изгибающие напряжения в образце создаются при помощи электромеханизма, рычага в виде плоской пружины, тяги и обоймы с подшипником, который одевается на хвостовик образца; электродвигатель привода контробразца через гибкий вал вращает вал, на котором закреплен контробразец-ролик, который, в свою очередь, прижимается к образцу рычагом, выполненным в виде плоской пружины, при помощи электромеханизма нагружения контактной нагрузкой. Оба электродвигателя приводов управляются тиристорными блоками, позволяющими с помощью задатчиков, расположенных в шкафу управления, изменять в широком диапазоне и поддерживать с высокой точностью заданную частоту вращения образца ($50-5000 \text{ мин}^{-1}$) и контробразца ($50-2000 \text{ мин}^{-1}$), обеспечивая заданную скорость проскальзывания пары трения (0-80%). Измерение контактной (в диапазоне 20-5000 Н) и изгибающей (в диапазоне 50-1500 Н) нагрузок производится с помощью тензодатчиков, наклеенных непосредственно на пружинные рычаги и показывающих приборов на панели шкафа управления. При этом изгибающие и контактные нагрузки изменяются бесступенчато и по любому закону, а в образце можно возбуждать изгибающие напряжения до 1000 МПа и более и контактные напряжения до 3500 МПа и более. Предусмотрена также возможность направления приложения изгибающей силы (вверх или вниз), что позволяет прикладывать контактную нагрузку в зоне сжатых или растянутых волокон образца. Вместо вращающегося контробразца - ролика на рычаге может быть установлена кассета с неподвижным контробразцом, или динамометрическое кольцо с мостиками фреттинга. В этом случае в используемой на машине силовой системе (образец/контробразец) реализуется трение скольжения или фреттинг. Линейный износ либо сближение осей пары трения измеряется (в диапазоне 10-1000 мкм) с помощью индуктивного датчика, параметры вибрации -виброакселерометром, установленным на рычаге в зоне крепления контробразца. Момент трения измеряется в диапазоне 0,5-20 Нм с погрешностью 2%. На машине СИ используются цилиндрические образцы диаметром рабочей части 10 мм, применяются следующие типы контробразцов (основные габаритные размеры $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$

при трении скольжения и проскальзывания; диаметр 100 мм при трении качения): диск, ролик, цилиндр, колодка, втулка, пластина, мостик, палец. На этой машине могут быть реализованы испытания на: трение скольжения, трение качения, трение качения с проскальзыванием, механическую усталость, фреттинг-усталость, фрикционно-механическую усталость, контактно-механическую усталость.

Однако применение универсальной машины СИ в современных условиях учреждениями высшего образования и науки ограничено следующими ее основными недостатками: относительно большие размеры образца и контрообразцов; значительные габаритные размеры $2550 \times 650 \times 1360$ мм³ установки испытательной и масса машины; устаревшая информационно-управляющая система, контрольно-измерительные приборы, аппаратура управления и сигнализации которой размещается в отдельном крупногабаритном шкафу управления; высокие значения создаваемых контактной и изгибающих нагрузок, понижающие ресурс машины; недостаточно широкий диапазон измерения линейного износа либо сближения осей пары трения; высокое энергопотребление - номинальная мощность электрооборудования 10 кВт.

Задачей изобретения является создание компактного малогабаритного центра в виде периферийного устройства к персональному компьютеру с оригинальными программным обеспечением и информационно-управляющей системой для износоусталостных испытаний материалов на образцах малых размеров диаметром рабочей части от 6 мм, с повышенным ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной и изгибающей нагрузок при одновременном расширении диапазонов контактных и изгибающих напряжений в образце в сторону увеличения.

Поставленная задача достигается тем, что в центре для износоусталостных испытаний материалов, состоящем из установки испытательной, содержащей станину, электропривод образца, механизм изгибающей нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через систему рычагов на обойму с подшипником, одетым на хвостовик образца, механизм контактной нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через систему рычагов на кассету с закрепленным в ней контрообразцом, защитный кожух; информационно-управляющей системы, включающей первичные датчики параметров испытаний и аварийных сигналов в комплекте с измерительными и нормирующими усилителями, источниками питания, электронный блок-контроллер, содержащий аппаратуру преобразования сигналов системы датчиков в цифровые последовательности для передачи в персональный компьютер (ПК) и управляющий приводами нагружающих устройств, ПК с программным и математическим обеспечением системы управления, сбора и обработки экспериментальных данных; электросиловой системы, содержащей силовую пускорегулирующую аппаратуру, электронный блок управления электроприводом образца, трассы кабелей, розетки для подключения информационно-управляющей системы, элементы информационно-управляющей и электросиловой систем конструктивно размещены в установке испытательной с уменьшенными до $600 \times 320 \times 420$ мм габаритными размерами и сниженным до 1,0 кВт энергопотреблении, а износоусталостные испытания материалов имеют возможность реализации на малоразмерных унифицированных цилиндрических образцах (диаметром рабочей части от 6 мм) и контрообразцах диаметром ролика при качении от 60 мм и профильным радиусом от 3 мм с повышенным ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной до 700 Н и изгибающей до 700 Н нагрузок при одновременном увеличении максимальных контактных до 6000 МПа и изгибающих до 2000 МПа напряжений в образце.

Использование идентичного или сходного конструктивного решения для испытательных машин не обнаружено.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1-16.

На фиг. 1 изображен общий вид установки испытательной центра для износоусталостных испытаний материалов

На фиг. 2 изображена принципиальная схема испытательной установки центра.

На фиг. 3 изображена структурная схема информационно-управляющей системы и приводов.

На фиг. 4 представлена схема взаимодействия центра для износоусталостных испытаний материалов с персональным компьютером и другими периферийными устройствами (УИ - установка испытательная; ИУС - информационно-управляющая система; ПО - программное обеспечение; ЭСС - электросиловая система).

На фиг. 5 представлена схема испытания на механическую усталость.

На фиг. 6 представлена схема испытания на трение скольжения.

На фиг. 7 представлена схема испытания на трение качения.

На фиг. 8 представлена схема испытания на фрикционно-механическую усталость.

На фиг. 9 представлена схема испытания на контактно-механическую усталость.

На фиг. 10 изображен график контактной нагрузки в зависимости от числа циклов для пары трения сталь 30 (образец) - сосна поперек волокон (контрообразец).

На фиг. 11 изображен график зависимости линейного износа от числа циклов для пары трения сталь 30 (образец) - сосна поперек волокон (контрообразец).

На фиг. 12 изображен график зависимости силы трения от числа циклов для пары трения сталь 30 (образец) - сосна поперек волокон (контрообразец).

На фиг. 13 изображена программа нагружения пары трения "цилиндрический образец из стали 45 -

ролик из стали 25ХГТ" при испытаниях на контактную усталость.

На фиг. 14 изображена программа нагружения трибофатической системы "цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ" при испытаниях контактно-механическую усталость.

На фиг. 15 изображен экспериментальный график зависимости сближения осей δ_c от числа циклов нагружения при испытаниях пары трения "цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ" на контактную усталость ($\Delta \approx 10$ мкм и $\Delta \approx 40$ мкм).

На фиг. 16 изображен экспериментальный график зависимости сближения осей δ_c от числа циклов нагружения при испытаниях трибофатической системы "цилиндрический образец из стали 45 - ролик из стали 25ХГТ" на контактно-механическую усталость ($\Delta \approx 10$ мкм и $\Delta \approx 40$ мкм).

Установка испытательная центра для износоусталостных испытаний материалов состоит из следующих частей (фиг. 1): станины 1; электропривода образца 2; механизма контактной нагрузки 3; защитного кожуха 4; механизма изгибающей нагрузки 5; измерителя линейного износа либо сближения осей пары трения (трибофатической системы) 6.

Взаимосвязь составных частей испытательной установки центра показана на схеме (фиг. 2).

Электродвигатель привода 2 образца вращает вал, в котором закреплен испытываемый образец 7. Изгибные напряжения в образце создаются с помощью электропривода 8 механизма изгибающей нагрузки, через обойму 9 с подшипником, насаженным на хвостовик вращающегося образца 7.

Расположение площадки трения в зоне растяжения или в зоне сжатия образца обеспечивается изменением направления (соответственно вниз или вверх) изгибающей силы Q , действующей на образец.

Контробразец 10 прижимается к рабочей поверхности образца с помощью электропривода 11 механизма контактной нагрузки через рычаг 12.

Вместо вращающегося контробразца - ролика на рычаге может быть установлена кассета (на фиг. 2 не показана) с неподвижным контробразцом. В этом случае в используемой на испытательном центре трибофатической системе (образец/контробразец) реализуется трение скольжения.

Величины контактной и изгибной нагрузок, а также силы трения определяются с помощью датчиков силы 13. Частота вращения контробразца измеряется с помощью оптоэлектронного датчика. Линейный износ либо сближение осей пары трения (трибофатической системы) измеряется с помощью датчика линейных перемещений индуктивного или емкостного типа, параметры вибрации - вибродатчиком, установленным на рычаге в зоне крепления контробразца (на схеме не показаны).

Информационно-управляющая система центра создана на базе ПК. Она построена по принципу: испытательная установка - система управления/измерения - ПК. Информационно-управляющая система (фиг. 3) имеет 3 канала управления устройствами испытательной машины. Они используются для управления: скоростью вращения образца; величиной контактной нагрузки; величиной изгибающей нагрузки. Количество каналов регистрации аналоговых сигналов - до 16. Эти каналы используются для измерения выходных сигналов: тензодатчика измерителя контактной нагрузки; тензодатчика измерителя изгибающей нагрузки; тензодатчика измерителя силы трения; датчика температуры (пирометра); датчика линейных перемещений измерителя износа; датчика вибраций.

Информационно-управляющая система предусматривает следующие режимы работы: планирование испытаний; калибровка измерительных каналов; проведение испытаний; просмотр кинетических экспериментальных данных; обработка результатов испытаний. Информационно-управляющая система позволяет производить измерения и регистрацию параметров на протяжении всего времени испытаний. Параметры управления с помощью специальной программы поступают из ПК в контроллер, где происходит их преобразование в управляющие сигналы для исполнительных устройств и производится контроль правильности обработки установленного задания исполнительными устройствами (регулятор частоты вращения образца, приводы механизмов изгибающей и контактной нагрузки). Контроллер также передает в ПК результаты измерений. Программно-математическое обеспечение процесса испытаний представляет собой диалоговую рабочую программу на ПК, обеспечивающую: задание из меню режимов и условий испытаний (алгоритм управления испытаниями); контроль вывода управляющих воздействий (кинетика управления); сбор первичной информации от системы датчиков (алгоритм измерения); вторичную обработку полученных данных в соответствии с вложенными процедурами (алгоритм обработки результатов); представление конечных результатов (протоколы испытаний, таблицы, графики, кривые предельного состояния и др.) на экране ПК.

Взаимодействие центра для износоусталостных испытаний материалов с ПК и другими периферийными устройствами схематично изображено на фиг. 4.

Центр для износоусталостных испытаний материалов позволяет реализовать следующие виды испытаний: на механическую усталость при изгибе с вращением (фиг. 5); на трение скольжение - фрикционную усталость (фиг. 6); на трение качения - контактную усталость (фиг. 7); совмещенные испытания на механическую усталость и трение скольжения - фрикционно-механическую усталость (фиг. 8); совмещенные испытания на механическую усталость и трение качения - контактно-механическую усталость (фиг. 9).

Электродвигатель привода образца управляются тиристорным блоком, позволяющим изменять в

широком диапазоне и поддерживать с высокой точностью заданную частоту вращения образца (3000 мин⁻¹). Измерение контактной (в диапазоне 5-700 Н) и изгибающей (в диапазоне 5-700 Н) нагрузок производится с помощью силоизмерителей тензометрических. При этом изгибающие и контактные нагрузки изменяются бесступенчато и по любому закону, а в образце можно возбуждать изгибающие напряжения до 2000 МПа и контактные напряжения до 6000 МПа. Предусмотрена также возможность направления приложения изгибающей силы (вверх или вниз), что позволяет прикладывать контактную нагрузку в зоне сжатых или растянутых волокон образца. Вместо вращающегося контробразца - ролика на рычаге может быть установлена кассета с неподвижным контробразцом. В этом случае в используемой на машине трибофатической системе (образец/контробразец) реализуется трение скольжения. Линейный износ либо сближение осей пары трения (трибофатической системы) измеряется (в диапазоне 1-3000 мкм) с помощью индуктивного датчика, параметры вибрации - датчиком вибрации, установленным на рычаге в зоне крепления контробразца. Сила трения измеряется с помощью датчика тензометрического в диапазоне 1-300 Н с погрешностью $\pm 0,5\%$. На центре для износоусталостных испытаний материалов используются цилиндрические образцы диаметром рабочей части от 6 мм, применяются следующие типы контробразцов (основные габаритные размеры 10×10×10 мм³ при трении скольжения и диаметр от 60 мм при трении качения): ролик, колодка, пластина. На нем могут быть реализованы испытания на: трение скольжения, трение качения, механическую усталость, фрикционно-механическую усталость, контактно-механическую усталость.

Рассмотрим возможности центра для износоусталостных испытаний материалов по нагрузкам и напряжениям. Применение в механизмах контактной и изгибающей нагрузок шагового электродвигателя модели 57BYGH2115-4008A позволяет реализовать усилие до 1000 Н на выходном штоке, которое программным обеспечением ограничивается величиной 700 Н. Для системы вал - ролик (фиг. 7, 9) максимальные контактные напряжения p_0 в центре контактной площадки согласно [3] определяют по формуле

$$p_0 = 0,365 n_{\sigma} \left[F_N (\Sigma \rho / \eta)^2 \right]^{1/3},$$

где n_{σ} - коэффициент, определяемый по [3] в зависимости от величины Ω , которую рассчитывают по формуле

$$\Omega = ((\rho_{11} - \rho_{12}) + (\rho_{21} - \rho_{22})) / \Sigma \rho;$$

F_N - контактная нагрузка, Н; $\Sigma \rho = \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22}$ - сумма главной кривизны поверхностей соприкасающихся тел в точке первоначального контакта;

$\rho = 1/R$ - главная кривизна поверхности, которая считается положительной, если поверхность выпуклая, и отрицательной, если вогнутая;

$\rho_{11} = 1/R_{11}$ и $\rho_{12} = 1/R_{12}$ - главная кривизна ролика (контробразца) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

$\rho_{21} = 1/R_{21}$ и $\rho_{22} = 1/R_{22}$ - главная кривизна вала (образца) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

η - коэффициент, учитывающий упругие характеристики материалов контактирующих тел

$$\eta = (1 - \mu_1^2) / E_1 + (1 - \mu_2^2) / E_2;$$

μ_1 и μ_2 - коэффициенты Пуассона материалов образца и контробразца;

E_1 и E_2 - модули нормальной упругости материалов образца и контробразца, МПа.

Если образец и контробразец изготовлены из стали ($\mu_1 = \mu_2 = 0,3$; $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа), для заданных размеров образца ($R_{21} = 3$ мм; $R_{22} = 10$ мм) и

контробразца ($R_{11} = 30$ мм; $R_{12} = 3$ мм) получаем следующее выражение для максимального контактного напряжения

$$p_0 = 500,5 F_N^{1/3}.$$

Тогда при максимальной контактной нагрузке имеем $p_0 = 500,5 F_N^{1/3} = 500,5 \cdot 700^{1/3} = 4443$ МПа. В случае, если образец в зоне контакта с контробразцом-роликом имеет цилиндрическую поверхность ($R_{22} = \infty$)

$$p_0 = 660,9 F_N^{1/3},$$

и при максимальной контактной нагрузке $p_0 = 660,9 F_N^{1/3} = 660,9 \cdot 700^{1/3} = 5868$ МПа.

Таким образом, с учетом имеющегося запаса по контактной нагрузке используемого электродвигателя и геометрии рабочих поверхностей образца и контробразца максимальные контактные напряжения при испытаниях на контактную и контактно-механическую усталость могут достигать 6000 МПа.

Максимальные изгибающие напряжения в опасном сечении образца при испытаниях на механическую усталость (фиг. 5) определяют по известной формуле:

$$\sigma = M / W = (Ql) / (\pi d^3 / 32),$$

где M - изгибающий момент;

W - момент сопротивления;

Q - изгибающая нагрузка;

l - плечо (расстояние от линии приложения нагрузки Q до опасного сечения образца);

d - диаметр рабочей части образца.

В нашем случае усилие 1000 Н на выходном штоке шагового электродвигателя 57BYGH2115-4008А механизма изгибающей нагрузки программным обеспечением ограничивается величиной 700 Н=Q, $l=65$ мм, $d=6$ мм, следовательно,

$$\sigma = (Ql)/(\pi d^3/32) = (700 \cdot 65)/(\pi \cdot 6^3/32) = 2145 \text{ МПа},$$

что с запасом перекрывает заявленные 2000 МПа.

Для привода образца на центре для износоусталостных испытаний материалов использован электродвигатель асинхронный АИРЕ 63 В2 мощностью 0,37 кВт. Электродвигатель шаговый 57BYGH2115-4008А механизмов контактной и изгибающей нагрузок потребляет мощность 0,15 кВт. Установленная мощность электрооборудования 0,8 кВт. В целом, установка испытательная и информационно-управляющая система центра для износоусталостных испытаний материалов (без ПК) потребляет мощность не более 1 кВт.

Пример реализации изобретения.

На центре для износоусталостных испытаний материалов выполняли испытания пары трения "цилиндрический образец диаметром рабочей части 6 мм из стали 30 - контрообразец-кубик размером $10 \times 10 \times 10$ мм³ из дерева (сосна поперек волокон)" на трение скольжения при частоте нагружения 3000 мин⁻¹ по схеме, представленной на фиг. 6.

Для этого с помощью программного обеспечения была задана программа испытаний методом многоступенчатого нагружения, которая изображена на фиг. 10 (штриховая линия 1). По этой программе контактная нагрузка F_N задавалась в диапазоне от 4 до 22 Н с интервалом 4 Н, а длительность каждой ступени составляла 10 тысяч циклов. На фиг. 10 для сравнения приведен также график фактического изменения контактной нагрузки (сплошная линия 2) в зависимости от числа циклов N нагружения, полученный на основе анализа сигналов с датчика контактной нагрузки.

График зависимости линейного износа Δh от числа циклов N представлен на фиг. 11, а на фиг. 12 изображен график зависимости силы трения F_s от числа циклов N нагружения для исследуемой пары трения, из которого хорошо видны характерные скачки величины F_s при переходе со ступени на ступень.

Также на центре для износоусталостных испытаний материалов выполняли испытания трибофатической системы "цилиндрический образец диаметром рабочей части 6 мм из стали 45 - ролик диаметром 60 мм и профильным радиусом 3 мм из стали 25ХГТ" на контактную и контактно-механическую усталость по схемам, представленным на фиг. 7 и 9. Программы испытаний методом многоступенчатого нагружения изображены на фиг. 13, 14.

В зону трения подавали редукторное масло ТИ5-2 капельным способом. Частота вращения образца была постоянной (3000 мин⁻¹). Для исследования было принято 11 ступеней изменения величины контактной нагрузки (см. фиг. 13, 14). Исследовали образцы с биением $\Delta = \pm 10$ мкм и $\Delta = \pm 40$ мкм. На фиг. 15, 16 представлены результаты испытаний в виде диаграмм изменения сближения осей δ_c элементов трибофатической системы от числа циклов нагружения.

Анализ приведенных результатов испытаний показывает:

1) движение ролика по образцу нестационарно изначально, эта нестационарность значительно усиливается вследствие остаточного изменения размеров площадки контакта и локальных свойств материала вдоль дорожки качения,

2) биение образца оказывает существенное влияние на характеристики износоусталостного повреждения: величины сближения осей, уровня шума, остаточных осевых и радиальных деформаций при одинаковой наработке больше для образца с биением 40 мкм, чем у образца с биением 10 мкм, различие особенно увеличивается с ростом контактной нагрузки (см. фиг. 15),

3) введение изгибающей нагрузки приводит к интенсификации процесса контактного повреждения: увеличиваются все характеристики износоусталостного повреждения при одинаковой контактной нагрузке (и наработке), предельное состояние наступает раньше (см. фиг. 16).

Таким образом, заявляемый центр для износоусталостных испытаний материалов по сравнению с прототипом позволяет реализовать все методы износоусталостных испытаний материалов на образцах малых размеров диаметром рабочей части от 6 мм с повышенным ресурсом путем уменьшения абсолютных величин контактной до 700 Н и изгибающей до 700 Н нагрузок при одновременном увеличении максимальных контактных до 6000 МПа и изгибающих до 2000 МПа напряжений в образце, уменьшении габаритных размеров для испытательной установки до $600 \times 320 \times 420$ мм³, снижении энергопотребления до 1,0 кВт.

Источники информации.

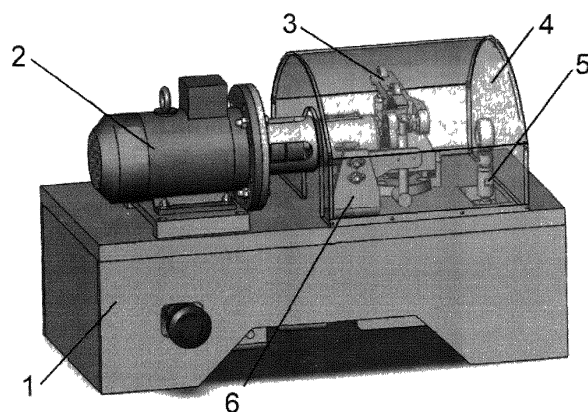
1) Патент RU № 2091751 C1, G 01 N 3/56, 25.09.1997.

2) Индман Н.Л., Ожигар Г.П., Сосновский Л.А. Конструктивные особенности машины СИ // Заводская лаборатория, 1995. - № 6. - с. 44-48.

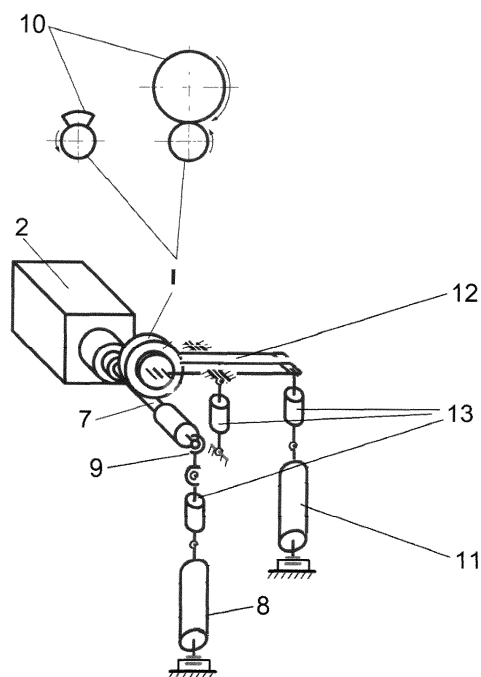
3) Р 50-54-30-87. Расчеты и испытания на прочность. Методы испытаний на контактную усталость : утв. приказом ВНИИНМАШ № 379 от 08.12.1987; введ. в действие с 1987-12-08. - Взамен ГОСТ 25.501-78 [Текст]. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам; ВНИИНМАШ, 1988. - с. 9-12, 44.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

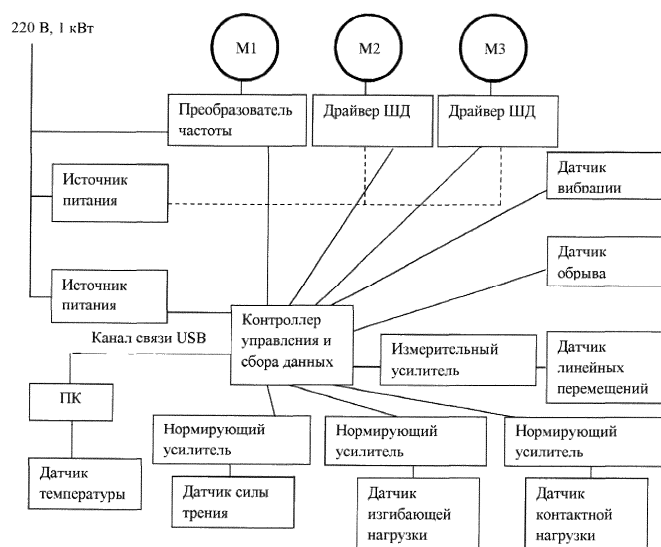
Центр для износоусталостных испытаний материалов, состоящий из установки испытательной, содержащей станину, электропривод образца, механизм изгибающей нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия на обойму с подшипником, надетым на хвостовик образца, механизм контактной нагрузки с электроприводом с возможностью воздействия через рычаг на кассету с закрепленным в ней контробразцом, защитный кожух; информационно-управляющей системы, включающей первичные датчики параметров испытаний и аварийных сигналов в комплекте с измерительными и нормирующими усилителями, источниками питания, электронный блок-контроллер, содержащий аппаратуру преобразования сигналов системы датчиков в цифровые последовательности для передачи в персональный компьютер (ПК) и управляющий приводами нагружающих устройств, ПК с программным и математическим обеспечением системы управления, сбора и обработки экспериментальных данных; электросиловой системы, содержащей силовую пускорегулирующую аппаратуру, электронный блок управления электроприводом образца, трассы кабелей, розетки для подключения информационно-управляющей системы, отличающийся тем, что механизм контактной нагрузки выполнен в виде установленных с возможностью непосредственного взаимодействия между собой рычага в виде жесткой балки, датчика силы и электропривода, и в механизме контактной нагрузки установлен с возможностью взаимодействия с рычагом дополнительный датчик силы для непосредственного измерения момента трения в сопряжении образец-контробразец, механизм изгибающей нагрузки выполнен в виде непосредственно взаимодействующих между собой обоймы с подшипником, датчика силы и электропривода, элементы информационно-управляющей и электросиловой систем конструктивно размещены в установке испытательной с уменьшенными до $600 \times 320 \times 420$ мм³ габаритными размерами и сниженным до 1,0 кВт энергопотреблением.



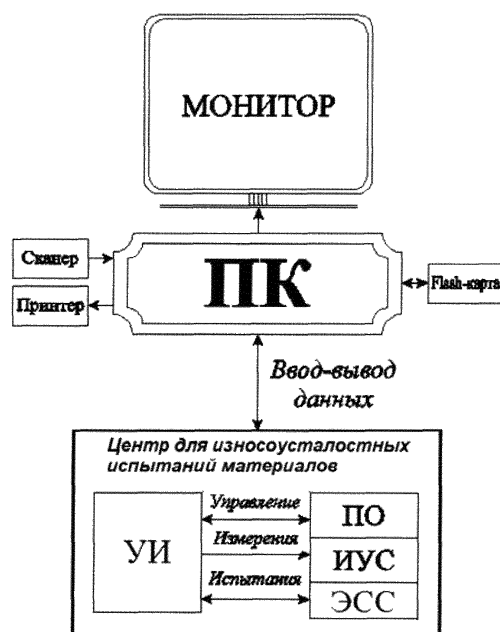
Фиг. 1



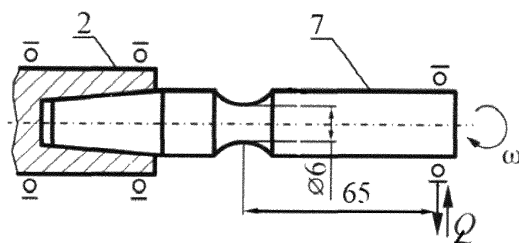
Фиг. 2



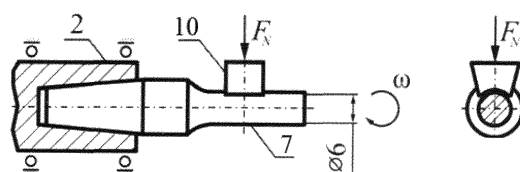
Фиг. 3



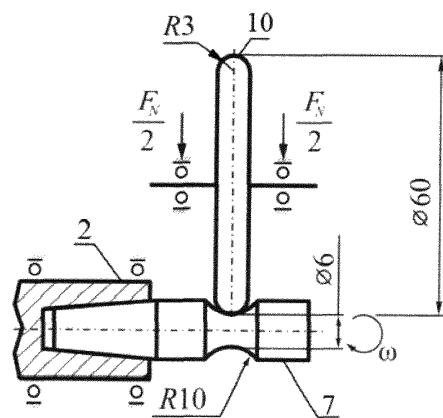
Фиг. 4



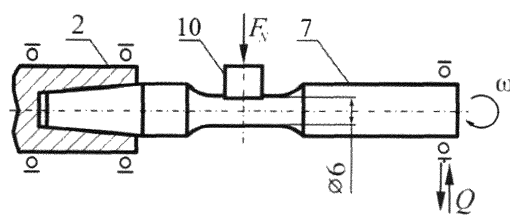
Фиг. 5



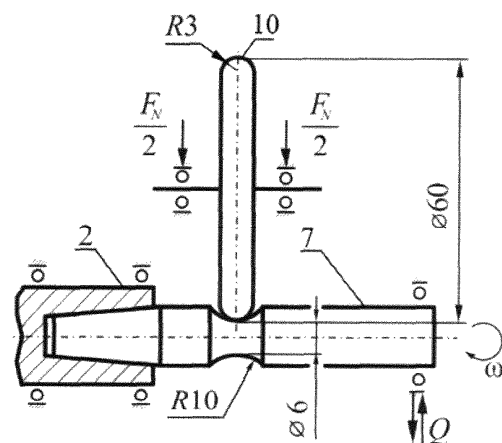
Фиг. 6



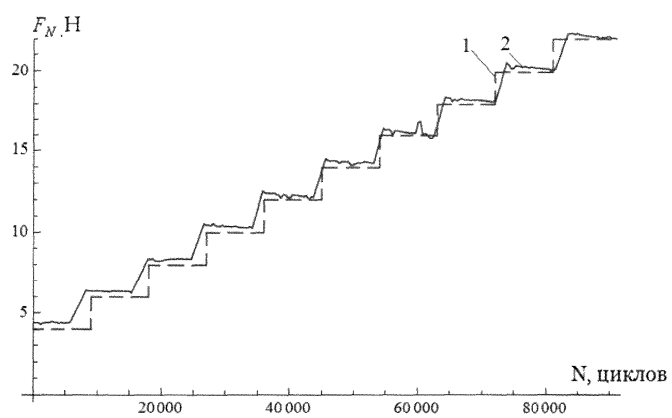
Фиг. 7



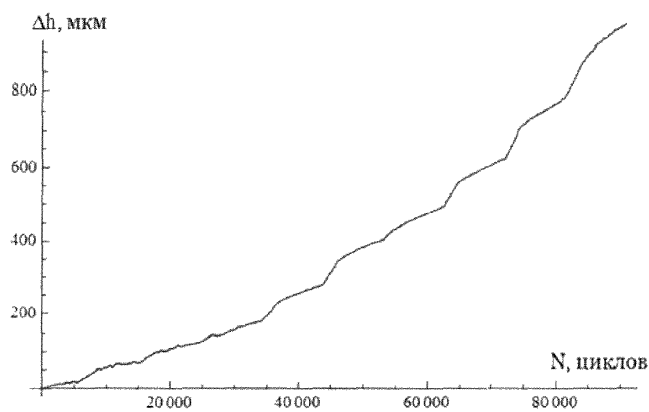
Фиг. 8



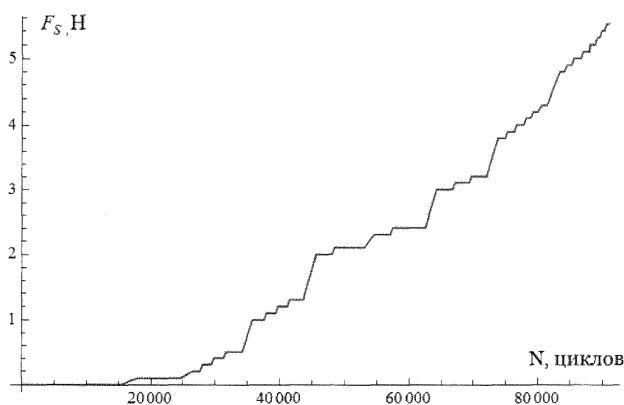
Фиг. 9



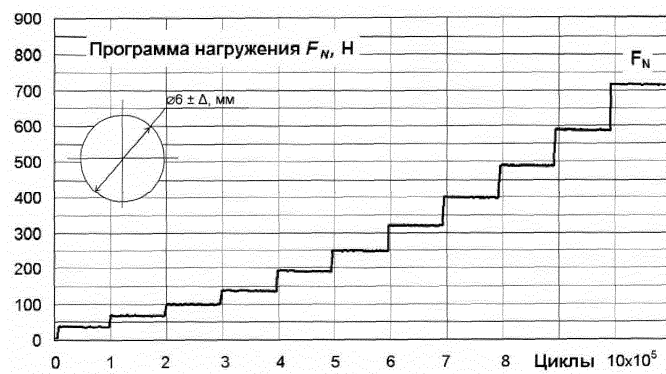
Фиг. 10



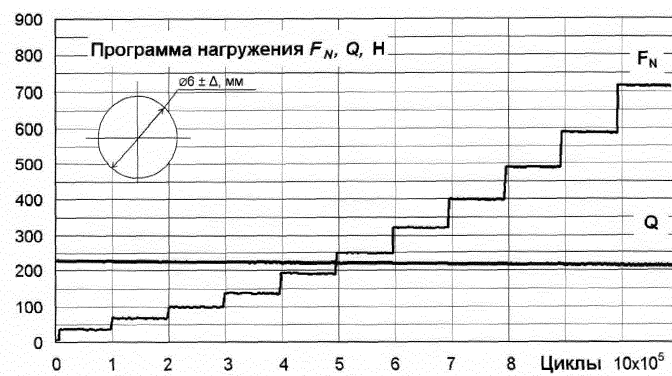
Фиг. 11



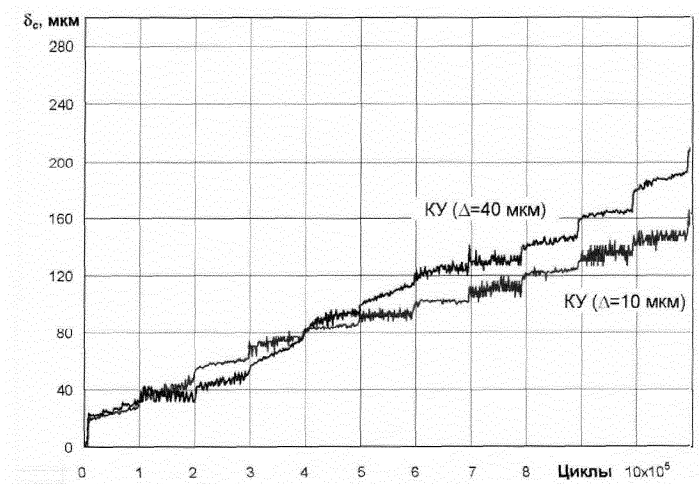
Фиг. 12



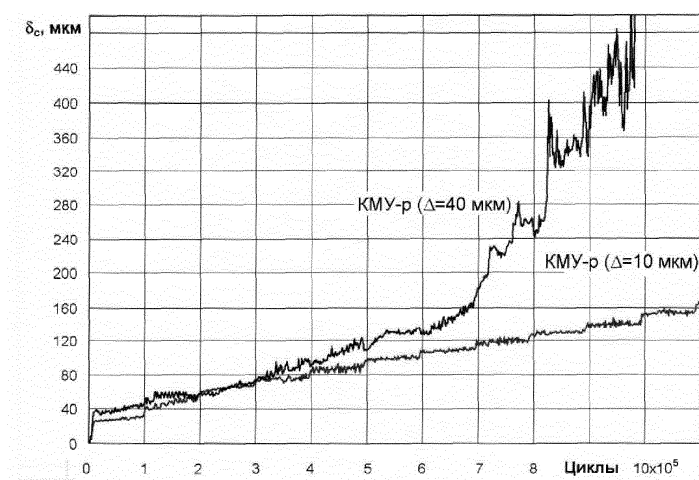
Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

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