

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035600**

(13) **B1**

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

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.07.14**

**(51)** Int. Cl. *F16C 33/58* (2006.01)  
*B21H 1/06* (2006.01)

**(21)** Номер заявки  
**201800549**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2018.09.20**

---

**(54) ОПОРА КАЧЕНИЯ И СПОСОБ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

---

**(43)** 2020.03.31

**(56)** KR-B1-940003142  
JP-A-2009257416  
JP-A-2005351443

**(96)** 2018/EA/0072 (BY) 2018.09.20

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК БЕЛАРУСИ" (BY)**

**(72)** Изобретатель:

**Басинюк Владимир Леонидович,  
Калиниченко Александр Сергеевич,  
Глазунова Анна Александровна,  
Еловой Олег Михайлович, Волкотруб  
Рита Евгеньевна, Лобкова Майя  
Петровна (BY)**

---

**(57)** Опора качения, содержащая наружное кольцо и внутреннее кольцо с дорожками качения из керамического материала и размещенные в дорожках качения шарики, при этом дорожки качения выполнены в виде канавок и каждый шарик опоры качения установлен с возможностью контакта с поверхностью канавок в двух точках, причем наружное и внутреннее кольцо опоры качения выполнены из сплава алюминия и на дорожках качения сформировано покрытие  $Al_2O_3$ , имеющее толщину 70...110 мкм и пористость 8...12% с размерами пор 1...4 мкм, заполненных антифрикционным материалом, наружная поверхность наружного кольца имеет скошенные к торцам участки, внутренняя поверхность которых с покрытием  $Al_2O_3$  имеет форму усеченных конусов, обращенных меньшим основанием к торцам наружного кольца, разделенных глухим кольцевым пазом и установленных с возможностью взаимодействия с шариками. Это позволяет повысить надежность опоры качения за счет комплексного снижения хрупкости, повышения технологичности конструкции и расширения технологических возможностей изготовления наружного и внутреннего колец опоры качения с использованием холодного пластического деформирования.

---

**B1**

**035600**

**035600**

**B1**

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к опорам качения, и может быть использовано в экстремальных условиях в вакууме в условиях открытого космоса при повышенных и пониженных температурах.

Известна опора качения с многоточечным контактом [1], содержащая наружное кольцо, внутреннее кольцо и размещенные между ними шарики и сепаратор, центрирующие поверхности сепаратора и наружного кольца выполнены сферическими с общим центром на оси опоры качения в плоскости, проходящей через центры шариков.

Недостатком данного технического решения является то, что опора качения выполнена из стали и, как следствие, имеет значительную массу и работает только в условиях жидкой смазки контактирующих поверхностей из-за необходимости предотвращения их схватывания при проскальзывании, что ограничивает возможности их использования в вакууме при температурах от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ .

Наиболее близкой к заявляемому изобретению является опора качения [2], содержащая наружное кольцо из керамического материала, внутреннее кольцо из керамического материала и размещенные между ними шарики из стали, при этом на внутренней поверхности наружного кольца и на наружной поверхности внутреннего кольца опоры качения выполнены канавки, имеющие в осевом сечении форму двух пересекающихся дуг с радиусом, превышающим радиус шариков опоры качения, и каждый шарик этой опоры установлен с возможностью контакта с поверхностью каждой из канавок в двух точках, причем эти две точки расположены так, что плоскость, пересекающая две точки, параллельна оси опоры качения.

Недостатком данного изобретения является недостаточно высокая надежность в условиях динамической нагруженности вследствие того, что материал, из которого изготовлена опора качения, - техническая керамика.

Техническая керамика обладает хрупкостью, не позволяющей ее использовать при значительных динамических нагрузках, а также высокой стоимостью. При ее использовании крайне ограничены технологические возможности изготовления деталей с использованием пластического деформирования.

Известен способ изготовления дорожек опоры качения в процессе обработки методами пластической деформации внутреннего и наружного колец шариковым раскатным инструментом, состоящим из комплекта шариков и оправки, прижимающей их к обрабатываемой поверхности вращающейся детали при совмещении оси раскатного инструмента с осью вращающейся детали [3].

Данный способ применяется для изготовления опор качения из стали ШХ-15. При этом способе происходит холодная раскатка наружного и внутреннего колец опоры качения и деформация материала колец до 50-55%. Недостатком этого способа является то, что он не может быть использован для изготовления опор качения с элементами из керамики из-за ее хрупкости.

Из известных способов изготовления опор качения наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является выбранный в качестве прототипа способ изготовления опоры качения с использованием раскатки раскатным инструментом путем принудительного ее вращения под нагрузкой, причем ось вращения раскатного инструмента располагают под острым углом к оси вращения детали, а профиль раскатного инструмента определяют в зависимости от значения этого угла [4].

Как правило, данным способом изготавливают наружное и внутреннее кольца опор качения из подшипниковой стали типа ШХ-15. Недостатком этого способа является то, что он не может быть использован для изготовления наружного и внутреннего колец опор качения из технической керамики из-за ее хрупкости, т.е. обладает ограниченными технологическими возможностями.

Задачей изобретения является повышение надежности опоры качения за счет комплексного снижения хрупкости, повышения технологичности конструкции и расширения технологических возможностей изготовления наружного и внутреннего колец опоры качения с керамическими компонентами дорожек качения с использованием холодного пластического деформирования (раскатки).

Решение поставленной задачи для опоры качения, содержащей наружное кольцо с дорожкой качения из керамического материала, внутреннее кольцо с дорожкой качения из керамического материала и размещенные в дорожках качения шарики, при этом дорожки качения выполнены в виде канавок и каждый шарик опоры качения установлен с возможностью контакта с поверхностью канавок в двух точках, которые расположены так, что пересекающая их плоскость параллельна оси опоры качения, причем канавка на внутреннем кольце имеет в осевом сечении форму двух пересекающихся дуг, имеющих радиус, превышающий радиус шариков опоры качения, обеспечивается тем, что наружное и внутреннее кольца опоры качения выполнены из сплава алюминия и на дорожках качения сформировано покрытие  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , имеющее толщину 70...110 мкм и пористость 8...12% с размерами пор 1...4 мкм, заполненных антифрикционным материалом, при этом наружная поверхность наружного кольца имеет скошенные к торцам участки, обеспечивающие повышение радиальной податливости наружного кольца, дорожка качения внутренней поверхности которого с покрытием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  имеет форму усеченных конусов, обращенных меньшим основанием к торцам наружного кольца, разделенных глухим, открытым в сторону внутренней поверхности кольцевым пазом и установленными с возможностью взаимодействия с шариками, причем шарики в дорожках качения внутреннего и наружного кольца установлены беззазорно.

В способе изготовления опор качения по п.1 с использованием раскатки раскатным инструментом

путем принудительного вращения их под нагрузкой, согласно техническому решению на наружной поверхности внутреннего кольца из сплава алюминия раскаткой формируют дорожку качения и анодно-катодной микродуговой обработкой создают на ней покрытие  $Al_2O_3$  толщиной 100...130 мкм, имеющее пористость 10...18% и размеры пор 1-10 мкм, с которого шлифованием удаляют поверхностный слой толщиной 20...30 мкм, затем на внутренней цилиндрической поверхности наружного кольца из сплава алюминия на его середине протачивают глухой открытый в сторону внутренней поверхности паз, имеющий глубину 0,8...1 мм и ширину 0,15...0,2 от диаметра шарика опоры качения, паз заполняют диэлектрическим резиноподобным композитом и на внутренней цилиндрической поверхности наружного кольца анодно-катодной микродуговой обработкой формируют покрытие  $Al_2O_3$  толщиной 100...130 мкм, имеющее пористость 10...18% и размеры пор 1...10 мкм, с которого шлифованием удаляют поверхностный слой толщиной 20...30 мкм и поры покрытия  $Al_2O_3$  заполняют антифрикционным материалом, которым покрывают внутреннюю цилиндрическую поверхность наружного кольца дорожки качения, после этого на внутренне кольцо устанавливают шарики с сепаратором и наружное кольцо, а затем двумя парами раскаточного инструмента, каждая из которых содержит по три ролика, обкатывают наружные прилегающие к торцам конусообразные поверхности наружного кольца с воздействием на них в направлении оси по нормали к конусообразным поверхностям и пластически деформируют их до контакта в двух точках внутренней поверхности наружного кольца и в двух точках наружной поверхности внутреннего кольца с каждым из шариков, после чего обкатку прекращают.

Повышение надежности опоры качения достигается за счет следующего:

наружное и внутреннее кольцо опоры выполнено из сплава алюминия и на дорожках качения сформировано покрытие  $Al_2O_3$ , имеющее толщину 70...110 мкм и пористость 8...12% с размерами пор 1...4 мкм, заполненных антифрикционным материалом, вследствие чего:

а) при сохранении на дорожках качения несхватывающегося в экстремальных условиях со стальным шариком керамикоподобного покрытия  $Al_2O_3$  (МДО-покрытия, сформированного анодно-катодной микродуговой обработкой), на порядок и более снижается хрупкость самих колец при динамических режимах функционирования опоры качения, а также повышается прочность дорожек качения и подшипниковых колец в целом за счет их упруго-пластичного деформирования при изготовлении;

б) возрастает технологичность конструкции, т.к. расширяются возможности использования холодной пластической обработки раскаткой, позволяющей получить прецизионные поверхности дорожек качения за один переход и, как следствие, существенно уменьшить стоимость колец опоры качения и ее стоимость в целом;

в) наружная поверхность наружного кольца имеет прилегающие к торцам скошенные (конусообразные) поверхности, обращенные меньшим диаметром в сторону торцевых поверхностей кольца и образующие боковыми сторонами упругоподатливые в радиальном направлении участки, установленные с возможностью взаимодействия внутренней поверхностью покрытия  $Al_2O_3$  с шариками, что способствует в сочетании с глухим, открытым в сторону внутренней поверхности кольцевым пазом, снижению динамической нагруженности элементов конструкции и, как следствие, повышению ее надежности;

г) отсутствие люфтов в конструкции опоры качения также способствует снижению динамической нагруженности ее элементов, например, во время возникновения вибрации, и, как следствие, повышению ее надежности;

д) обеспечивается возможность использования анодно-катодной микродуговой обработки для формирования слоя  $Al_2O_3$  на дорожках качения, исключающего их схватывание со стальными шариками при пониженных до  $-150^{\circ}C$  и повышенных до  $+200^{\circ}C$ ;

использование обладающего высокими пластичными свойствами алюминиевого сплава при изготовлении наружного и внутреннего кольца опоры качения позволяет существенно расширить технологические возможности процесса раскатки за счет того, что:

появляется возможность

а) (с использованием раскатки путем принудительного вращения колец под нагрузкой) сформировать раскатным инструментом весь профиль наружной поверхности внутреннего кольца перед анодно-катодной микродуговой обработкой с формированием на нем покрытия  $Al_2O_3$ , и из цилиндрической внутренней поверхности наружного кольца после изготовления на ее середине проточкой глухого паза, открытого в сторону внутренней поверхности глубиной 0,8...1 мм и шириной 0,15...0,2 от диаметра шарика опоры качения (паз заполняют диэлектрическим резиноподобным композитом, например силиконом, для того, чтобы при микродуговой обработке в нем не образовывалось покрытие  $Al_2O_3$ ), и обкаткой наружных прилегающих к торцам скошенных участков наружной поверхности наружного кольца с воздействием на них в направлении оси по нормали к скошенным поверхностям и пластическим деформированием кольца сформировать внутреннюю поверхность наружного кольца в виде двух усеченных поверхностей, обращенных большими основаниями друг к другу;

б) сформировать холодной раскаткой канавку с прецизионными поверхностями в виде двух пересекающихся дуг на внутреннем кольце на всю ее глубину с чистовыми размерами (с учетом припуска ~20 мкм на снятие дефектного внешнего слоя покрытия  $Al_2O_3$ );

в) снизить требования к точности по диаметру дорожек качения вследствие формирования их кон-

такта с шариками и выборки радиальных зазоров в процессе сборки опоры качения обкаткой наружного кольца.

В целом конструкция опоры качения существенно более технологична по сравнению с существующими, поскольку не требуется, с одной стороны, обеспечения прецизионных геометрических параметров, которые формируются холодной обработкой пластичного алюминиевого сплава, с другой стороны, прецизионные параметры функционирования опоры качения обеспечивается его сборкой с использованием пластического деформирования, позволяющего исключить зазоры между шариками и дорожками качения.

Кроме того, к существенным преимуществам предлагаемого технического решения, по сравнению с известными, можно отнести следующее:

отсутствие радиальных зазоров между шариками и дорожками качения в сочетании с высокими демпфирующими свойствами алюминиевых сплавов позволяет использовать повышенные до 40000 об/мин и более скорости вращения в двигателях-маховиках систем активной ориентации нано- и пикоспутников, имеющих ограниченный по длительности эксплуатации жизненный цикл;

использование алюминиевых сплавов для наружных и внутренних колец опоры в сочетании с прилегающими к его торцам упругоподатливыми в радиальном направлении участками на наружном кольце позволяет решить технически сложную проблему влияния на параметры функционирования изделия в условиях значительного градиента температур из-за разности в коэффициентах температурного расширения материалов, возникающих при использовании для корпуса объекта, например космической техники, алюминиевых сплавов и стальных опор качения;

себестоимость изготовления опоры качения существенно ниже известных вследствие значительного уменьшения "технологической цепочки".

Толщина покрытия  $Al_2O_3$  70...110 мкм выбрана исходя из условия обеспечения высокой надежности в экстремальных условиях эксплуатации с учетом следующего:

при толщине покрытия менее 70 мкм резко снижается его прочность при локализованном нагружении, т.е. покрытие может "проламинаться";

при толщине покрытия более 110 мкм в экстремальных условиях эксплуатации при циклическом нагружении в ряде случаев возникает самопроизвольное отделение покрытия от материала.

Пористость 8...12% с размерами пор 1...4 мкм выбрана исходя из следующего:

при пористости менее 8% и размерах пор менее 1 мкм их заполнение антифрикционным материалом оказывается малоэффективным с позиций обеспечения приемлемых трибологических условий функционирования трущихся сопряжений опоры качения;

при пористости более 12% и размерах пор более 4 мкм снижается контактная прочность покрытия  $Al_2O_3$ , возрастает коэффициент трения качения и снижается КПД опоры качения.

Использование паза глубиной 0,8...1 мм и шириной 0,15...0,2 от диаметра шарика позволяет пластически деформировать воздействием роликами на боковые прилегающие к торцам наружного кольца конусообразные поверхности с образованием на нем упругоподатливых в радиальном направлении участков без разрушения образующихся в процессе пластического деформирования наружного кольца конусообразных внутренних поверхностей покрытия  $Al_2O_3$  до его контакта с шариками.

#### Краткое описание чертежей

Пример исполнения опоры качения и способа ее изготовления поясняются чертежами, где схематично в упрощенном виде показаны:

на фиг. 1 - схема конструкции опоры качения после сборки;

на фиг. 2 - схема формирования раскаткой дорожки качения на внутреннем кольце опоры до формирования на ней покрытия  $Al_2O_3$ ;

на фиг. 3 - схема конструкции опоры качения до сборки.

Приведенная выше опора качения (фиг. 1) изготавливается следующим образом.

На наружной цилиндрической поверхности (не показана) предварительно изготовленного внутреннего кольца 1 из сплава алюминия Д16, установленного на оправку (не показана), обкаткой тремя равномерно расположенными по окружности роликами 2, имеющими в осевом сечении профиль рабочей части, соответствующий профилю дорожки качения 3, и установленными в специальном приспособлении (не показано), принудительным вращением внутреннего кольца 1 приводом вращения (не показан) с приложением в направлении его оси нагрузки пластическим деформированием формировалась полнопрофильная канавка (фиг. 2), имеющая в осевом сечении форму двух пересекающихся дуг с радиусами  $R=7$  мм, превышающими радиус  $R_T = 6,35$  мм шариков 4 опоры качения (фиг. 1), и образующая дорожки качения 5 и 6.

После этого на дорожках качения 5 и 6 анодно-катодной микродуговой обработкой при напряжении 430...450 В и плотности тока 28...30 А/дм<sup>2</sup> было сформировано покрытие 7 и 8 (фиг. ) из  $Al_2O_3$ , имеющее толщину 120...130 мкм, пористость 10...18% и размеры пор 1-10 мкм, с которого затем шлифованием удалялся поверхностный слой на глубину ~20 мкм.

На внутренней цилиндрической поверхности наружного кольца 9 из сплава алюминия Д16 (фиг. 3) на его середине протачивался глухой, открытый в сторону внутренней поверхности паз 10, имеющий

глубину  $h=1$  мм и ширину  $b \approx 0,2 \cdot 2 \cdot 6,35 = 2,5$  мм, после чего паз 10 заполнялся силиконом 11 и на внутренней цилиндрической поверхности наружного кольца 9 анодно-катодной микродуговой обработкой при напряжении 430...450 В и плотности тока 28...30 А/дм<sup>2</sup> в специальном приспособлении (не показано) формировалось покрытие 12 и 13 из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, имеющее толщину 120...130 мкм, пористость 10...18% и размеры пор 1...10 мкм, после чего с него шлифованием удалялся поверхностный слой на глубину 25 мкм и поры покрытия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> заполнялись дисульфидом молибдена (не показан). Этим же материалом покрывалась внутренняя цилиндрическая поверхность наружного кольца 9.

Затем на внутреннее кольцо 1 устанавливались шарики 4 с сепаратором (не показан) и наружное кольцо 9 с радиальным зазором  $\Delta$  (фиг. 3), после чего двумя парами раскатного инструмента, в каждом из которых расположены по окружности по три (не показаны) конических 14 и 15 ролика, обкатывались наружные прилегающие к торцам образованные скосами конусообразные поверхности 16 и 17 наружного кольца 9 с воздействием на них в направлении оси по нормали к конусообразным поверхностям 16 и 17 усилием и осуществлялось их пластическое деформирование с образованием на наружном кольце 9 упругоподатливых в радиальном направлении участков 18 и 19 до касания в двух точках 20 и 21 (фиг. 1) внутренней поверхности наружного кольца 9 и в двух точках 22 и 23 наружной поверхности внутреннего кольца 1 с каждым из шариков 4, после чего обкатка прекращалась и ролики 14 и 15 отводились от опоры качения.

Опора качения (фиг. 1) состоит из наружного кольца 9 из сплава алюминия, например Д16 с покрытием 12 и 13 из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на внутренней поверхности. Покрытие 12 и 13 сформировано анодно-катодной микродуговой обработкой и имеет толщину 70...110 мкм, пористость 8...12% и размеры пор 1...4 мкм, заполненные антифрикционным материалом (не показан), например дисульфидом молибдена.

Внешняя поверхность наружного кольца 9 имеет цилиндрическую поверхность 24 и прилегающие к торцам 25 и 26 образованные скосами конусообразные поверхности 16 и 17, образующие на наружном кольце 9 упругоподатливые в радиальном направлении участки 18 и 19.

Упругоподатливые в радиальном направлении участки 18 и 19 установлены с возможностью взаимодействия внутренними конусообразными поверхностями 27 и 28, разделенными глухим, открытым в сторону внутренней поверхности кольцевым пазом 10, с шариками 4 в двух точках 20 и 21 таким образом, чтобы пересекающая их плоскость (не показана) была параллельна оси 29 опоры качения.

Внутреннее кольцо 1 с дорожками качения 5 и 6 выполнено из сплава алюминия, например Д16 с дорожкой качения в виде канавки, имеющей в осевом сечении форму двух пересекающихся в осевом сечении дуг с радиусами  $R$ , с которыми каждый шарик 4 опоры качения установлен с возможностью контакта в двух точках 22 и 23, которые расположены так, что пересекающая их плоскость параллельна оси 29 опоры качения.

На упругоподатливых в радиальном направлении участках 18 и 19 сформированы анодно-катодной микродуговой обработкой покрытия 12 и 13 из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, имеющие толщину 70...110 мкм, пористость 8...12% и размеры пор 1...4 мкм, заполненные антифрикционным материалом (не показан), например дисульфидом молибдена.

Опора качения работает следующим образом.

От привода (не показан) в опоре качения приводится во вращение наружное 9 или внутреннее 1 кольцо на установленных в сепараторе (не показан), например из фторопласта, стальных шариках 4, катящихся по покрытиям из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дорожек качения 5, 6 и 27, 28 соответственно внутреннего 1 и наружного 9 колец. При этом каждый из шариков 4 контактирует с двумя точками 20 и 21 внутренней поверхности наружного кольца 9 и двумя точками 22 и 23 наружной поверхности внутреннего кольца 1.

В процессе функционирования опоры качения в расширенном до минус 150°C и плюс 200°C температурном диапазоне вследствие инертных свойств покрытий Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дорожек качения 5, 6 и 27, 28 исключается схватывание контактирующих поверхностей без дополнительной смазки.

Использование предлагаемого технического решения позволяет повысить надежность опоры качения за счет комплексного решения проблемы снижения хрупкости, повышения технологичности конструкции, снижения стоимости ее изготовления и расширения технологических возможностей изготовления опор качения с керамическими компонентами дорожек качения и, в целом, позволяет обеспечить более технологичное конструктивное исполнение опоры. Кроме того, конструкция опоры качения обеспечивает значительно более надежную осевую фиксацию внутреннего кольца опоры относительно внешнего кольца, отсутствие в ней радиальных зазоров и позволяет решить технически сложную проблему влияния на параметры функционирования изделия в условиях значительного градиента температур, что позволяет ее успешно использовать в космической технике, функционирующей в расширенном диапазоне температур.

Список использованных источников.

1. Подшипник шариковый радиально-упорный, авт.св. СССР № 1790703, МПК F16C 33/58/ Пиковский В.А., Королев К.В.; Специальное конструкторское бюро технологического оборудования ПО ГПЗ - 4; заявл. 24.04.1990 г.; опублик. 23.01.1993г.

2. Non-lubricated rolling element ball bearing: US 6318899, МПК F16C 33/32, F16C 19/06/ Cary Lewis

Boyrd; Ceramic Engineering Consulting; заявл. 14.12.1999 г.; опубл. 20.11.2001 г.

3. Королев, А.В. Исследование упрочняющей технологии раскатки дорожек качения шарикоподшипников/ Королев А.В., Нейгебауэр К.С. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015, №1, с. 21-23.

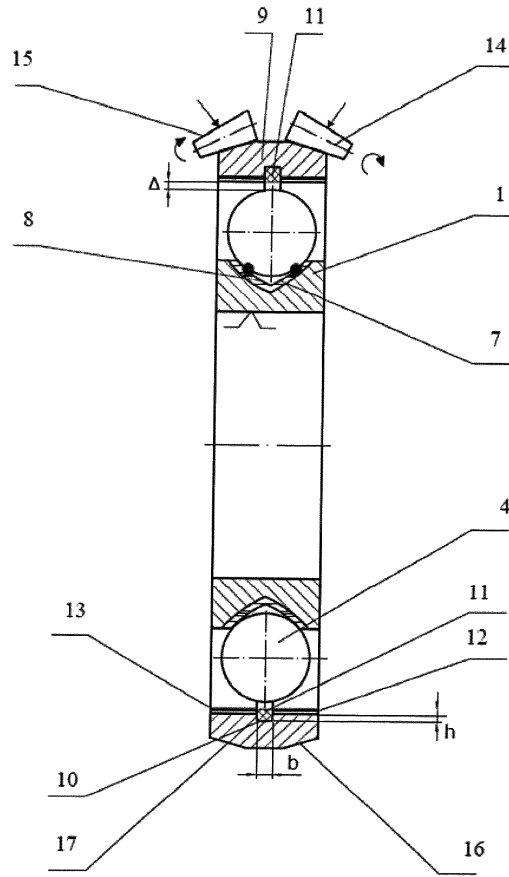
4. Способ раскатки деталей, патент РФ 2222392, Годунов В.Б., Королев А.А., Королев А.А.; заявл. 04.06.2002 г.; опубл. 27.01.2004 г.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Опора качения, содержащая наружное кольцо с дорожкой качения из керамического материала, внутреннее кольцо с дорожкой качения из керамического материала и размещенные в дорожках качения шарики, при этом дорожки качения выполнены в виде канавок и каждый шарик опоры качения установлен с возможностью контакта с поверхностью канавок в двух точках, которые расположены так, что пересекающая их плоскость параллельна оси опоры качения, причем канавка на внутреннем кольце имеет в осевом сечении форму двух пересекающихся дуг, имеющих радиус, превышающий радиус шариков опоры качения, отличающаяся тем, что наружное и внутреннее кольца опоры качения выполнены из сплава алюминия и на дорожках качения сформировано покрытие  $Al_2O_3$ , имеющее толщину 70...110 мкм и пористость 8...12% с размерами пор 1...4 мкм, заполненных антифрикционным материалом, при этом наружная поверхность наружного кольца имеет скошенные к торцам участки, обеспечивающие повышение радиальной податливости наружного кольца, дорожка качения внутренней поверхности которого с покрытием  $Al_2O_3$  имеет форму усеченных конусов, обращенных меньшим основанием к торцам наружного кольца, разделенных глухим, открытым в сторону внутренней поверхности кольцевым пазом и установленными с возможностью взаимодействия с шариками, причем шарики в дорожках качения внутреннего и наружного колец установлены безазорно.

2. Способ изготовления опор качения по п.1 с использованием раскатки раскатным инструментом путем принудительного вращения их под нагрузкой, заключающийся в том, что на наружной поверхности внутреннего кольца из сплава алюминия раскаткой формируют дорожку качения и анодно-катодной микродуговой обработкой создают на ней покрытие  $Al_2O_3$  толщиной 100...130 мкм, имеющее пористость 10...18% и размеры пор 1-10 мкм, с которого шлифованием удаляют поверхностный слой толщиной 20...30 мкм, затем на внутренней цилиндрической поверхности наружного кольца из сплава алюминия на его середине протачивают глухой, открытый в сторону внутренней поверхности паз, имеющий глубину 0,8...1 мм и ширину 0,15...0,2 от диаметра шарика опоры качения, этот паз заполняют диэлектрическим резиноподобным композитом и на внутренней поверхности наружного кольца анодно-катодной микродуговой обработкой формируют покрытие  $Al_2O_3$  толщиной 100...130 мкм, имеющее пористость 10...18% и размеры пор 1...10 мкм, с которого шлифованием удаляют поверхностный слой толщиной 20...30 мкм и поры покрытия  $Al_2O_3$  заполняют антифрикционным материалом и этим материалом покрывают внутреннюю цилиндрическую поверхность наружного кольца, после чего на внутренне кольцо устанавливают шарики с сепаратором и наружное кольцо, а затем двумя парами раскатного инструмента, каждая из которых содержит по три ролика, обкатывают наружные, прилегающие к торцам конусообразные поверхности наружного кольца с воздействием на них в направлении оси по нормали к конусообразным поверхностям и пластически деформируют их до контакта в двух точках внутренней поверхности наружного кольца и в двух точках наружной поверхности внутреннего кольца с каждым из шариков, после чего обкатку прекращают.





Фиг. 3