

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035325**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.05.28

(51) Int. Cl. *F16C 17/02* (2006.01)

(21) Номер заявки
201792553

(22) Дата подачи заявки
2015.05.19

(54) **ГИБРИДНЫЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАДИАЛЬНЫЙ ПОДШИПНИК**

(43) **2018.07.31**

(86) **PCT/CN2015/079232**

(87) **WO 2016/183786 2016.11.24**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и патентовладелец:

ЛО ЛИФЭН (CN)

(74) Представитель:
Можайский М.А. (RU)

(56) CN-U-202140419
WO-A3-2013028507
CN-U-202108867
CN-A-103867571
KR-B1-100954067
JP-B2-4803733

(57) Предложен гибридный газодинамический радиальный подшипник, который содержит внешнюю втулку подшипника, внутреннюю втулку и фольговый упругий элемент, размещенный между внешней втулкой подшипника и внутренней втулкой, при этом внешняя цилиндрическая поверхность и обе торцевые поверхности внутренней втулки подшипника соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, причем канавки на одной из торцевых поверхностей расположены зеркально симметрично канавкам на другой торцевой поверхности, а осевые контурные линии канавок на внешней цилиндрической поверхности и радиальные контурные линии канавок на левой и правой торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия; обладает жесткостными характеристиками при максимально высокой скорости вращения как у газодинамического радиального подшипника канавочного типа и упругой характеристикой при высокой ударпрочности и несущей способностью как у газодинамического радиального фольгового подшипника. Таким образом, настоящее изобретение позволяет применять газодинамические радиальные подшипники в областях сверхвысоких скоростей при более высоких нагрузках.

B1

035325

035325

B1

Область техники

Настоящее изобретение касается газодинамического радиального подшипника, в частности гибридного газодинамического радиального подшипника, обладающего при максимально высоких скоростях вращения жесткостью характеристикой как у газодинамического радиального подшипника канавочного типа, и упругой характеристикой при высокой ударопрочности, а также несущей способностью как у газодинамического радиального фольгового подшипника, и относится к области газовых подшипников.

Уровень техники

Газовые подшипники обладают такими преимуществами как способность работы в высокоскоростном режиме, высокая точность, термоустойчивость, малые потери на трение, продолжительный срок службы и прочее. Их бурное развитие пришлось на последние десятилетия, и теперь газовые подшипники стали широко применяться в качестве высокоскоростных опор, высокоточных опор и т.п. В настоящее время разработаны различные типы газовых подшипников, которые в основном подразделяются на газодинамические и газостатические.

В газодинамическом радиальном подшипнике газ играет роль смазки, а газовая пленка формируется между валом и подшипником. Именно в подшипнике такого типа подвижная поверхность не находится в прямом контакте с неподвижной поверхностью, и это дает много преимуществ, таких как отсутствие загрязнения окружающей среды, малые потери на трение, широкий диапазон температур, плавная работа, длительный эксплуатационный ресурс и работа в высокоскоростных режимах. Благодаря малым потерям на трение и отсутствию необходимости использовать жидкие смазочные масла этот подшипник широко используется в области, где применяются высокие скорости вращения. В частности, он часто применяется в области сверхвысоких скоростей, где обычно в качестве опоры используется роликовый подшипник и где не подходят жидкие смазки.

Газодинамические подшипники в соответствии с направлением действия нагрузки на подшипник разделяются на газодинамические радиальные подшипники, газодинамические упорные подшипники и газодинамические комбинированные радиально-упорные подшипники. Газодинамический радиальный подшипник формируется двумя находящимися в движении относительно друг друга рабочими поверхностями, образующими клиновидный промежуток. При их движении относительно друг друга газ движется под действием собственной вязкости и нагнетается в клиновидный зазор, создавая тем самым динамическое давление для восприятия нагрузки. Различные типы газодинамических радиальных подшипников определяются конструктивными различиями, при этом рабочий процесс отличается незначительно. В настоящее время наиболее распространенными конструктивными типами газодинамических радиальных подшипников являются самоустанавливающиеся сегментные подшипники, подшипники канавочного типа и фольговые подшипники.

Самоустанавливающийся сегментный подшипник представляет собой наилучший тип газодинамических радиальных подшипников с самонастраивающимся рабочим режимом, который может надежно работать при уменьшенных воздушных зазорах, нечувствителен к температурным, упругим деформациям и т.п., при этом легко обеспечивается точность его изготовления, а также он имеет огромные преимущества, обладая способностью автоматически отслеживать изменение нагрузки. В настоящее время он в основном используется в крупногабаритных высокоскоростных вращающихся механизмах и турбинном оборудовании внутри страны и за рубежом. Однако его конструкция является более сложной, процесс установки сложен и требования выше по сравнению с требованиями к обычному радиальному подшипнику, поэтому сфера его применения ограничена.

Хотя газодинамический радиальный фольговый подшипник с упругой опорой может обеспечить надежную несущую способность и смягчить ударную вибрацию, существуют некоторые проблемы в технологии производства и обработки материалов подшипников, поскольку фольговый подшипник обычно выполняют из листов металлической фольги, кроме того, величина затухания колебаний в подшипнике не может быть значительно улучшена, так что жесткость такого подшипника недостаточна, критическая скорость вращения мала, и подшипник склонен к потере устойчивости и даже заклиниванию при работе на высоких скоростях.

Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа обладает хорошей устойчивостью, причем некоторая устойчивость достигается даже без нагрузки, а при высоких скоростях статическая несущая способность у него выше, чем у других видов подшипников. В настоящее время он преимущественно используется в малогабаритных высокоскоростных вращающихся механизмах, а также используется в качестве подшипника в точном оборудовании, таком как гироскоп и магнитный барабан. Однако из-за того, что газодинамический радиальный подшипник канавочного типа обладает высокой жесткостью, его ударопрочность недостаточна, а несущая способность недостаточно велика. Кроме того, он не способен работать на высоких скоростях при больших нагрузках.

Целью, достижения которой ожидают от исследователей в области подшипников, является создание гибридного газодинамического радиального подшипника, имеющего жесткостные характеристики при максимально высокой скорости вращения как у газодинамического радиального подшипника канавочного типа, а упругие характеристики при высокой ударопрочности и несущую способность как у газодинамического радиального фольгового подшипника. Далее с точки зрения перспективы весьма важно

достичь того, чтобы газодинамические радиальные подшипники могли работать при повышенной нагрузке в области сверхвысоких скоростей.

Раскрытие изобретения

Ввиду рассмотренных выше проблем и требований уровня техники целью настоящего изобретения является создание гибридного газодинамического радиального подшипника, имеющего жесткостные характеристики при максимально высокой скорости вращения как у газодинамического радиального подшипника канавочного типа, а упругие характеристики при высокой ударпрочности и несущую способность как у газодинамического радиального фольгового подшипника, а также достижение того, чтобы газодинамические радиальные подшипники работали в областях сверхвысоких скоростей при повышенной нагрузке.

Поставленная цель достигается созданием настоящего изобретения, объектом которого является следующее:

гибридный газодинамический радиальный подшипник, содержащий внешнюю втулку подшипника, внутреннюю втулку и фольговый упругий элемент, размещенный между внешней втулкой подшипника и внутренней втулкой, при этом внешняя цилиндрическая поверхность и левая и правая торцевые поверхности внутренней втулки подшипника соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, причем канавка на одной из торцевых поверхностей расположена зеркально симметрично канавке на другой торцевой поверхности, а осевые контурные линии канавок на внешней цилиндрической поверхности и радиальные контурные линии канавок на левой и правой торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия.

В одном из вариантов осуществления изобретения верхние осевые линии канавок на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки подшипника соответствуют верхним радиальным линиям канавок на левой и правой торцевых поверхностях и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности;

средние осевые линии канавок на внешней цилиндрической поверхности соответствуют средним радиальным линиям канавок на левой и правой торцевых поверхностях и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности; а

нижние осевые линии канавок на внешней цилиндрической поверхности соответствуют нижним радиальным линиям канавок на левой и правой торцевых поверхностях и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности.

В одном из вариантов осуществления изобретения канавка имеет форму лопасти.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения на согласуемой поверхности фольгового упругого элемента, согласованной с внешней цилиндрической поверхностью внутренней втулки подшипника, размещено износостойкое покрытие.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения между фольговым упругим элементом и внутренней втулкой подшипника имеется зазор, составляющий 0,003-0,008 мм.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения оба конца фольгового упругого элемента закреплены на внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения имеется несколько фольговых упругих элементов, которые равномерно распределены по внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника.

В более предпочтительном варианте осуществления изобретения на внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника устроены зажимающие канавки, используемые для закрепления фольгового упругого элемента.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения фольговый упругий элемент подвергнут поверхностной термообработке.

В одном из вариантов осуществления изобретения фольговый упругий элемент состоит из волнообразного листа фольги и плоского листа фольги, при этом верхний конец дугообразного выступа волнообразного листа фольги прикреплен к плоскому листу фольги, а промежуточная нижняя кромка волнообразной дуги волнообразного листа фольги прикреплена к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника.

В другом варианте осуществления изобретения фольговый упругий элемент состоит из волнообразного листа фольги и плоского листа фольги, при этом верхний конец дугообразного выступа волнообразного листа фольги прикреплен к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника, а промежуточная нижняя кромка между волнообразными дугами волнообразного листа фольги прикреплена к плоскому листу фольги.

Еще в одном варианте осуществления изобретения фольговый упругий элемент состоит из двух плоских листов фольги, при этом в плоском листе фольги, расположенном ближе к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника, выполнено сквозное отверстие.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения на обоих торцах внешней втулки подшипника размещены упорные кольца.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения на внешней цилиндрической поверхно-

сти внешней втулки подшипника выполнены соосно выемки и сквозные отверстия, при этом сквозные отверстия находятся в выемках на одной и той же оси.

По сравнению с предшествующим уровнем техники настоящее изобретение дает следующие преимущества.

Фольговый упругий элемент размещен между внешней втулкой подшипника и внутренней втулкой подшипника, а внешняя цилиндрическая поверхность и левая и правая торцевые поверхности внутренней втулки подшипника снабжены равномерно расположенными канавками, причем осевые контурные линии канавок на внешней цилиндрической поверхности и радиальные контурные линии канавок на левой и правой торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия, а канавка на одной из торцевых поверхностей расположена зеркально симметрично канавке на другой торцевой поверхности, в результате чего получается гибридный газодинамический радиальный подшипник, имеющий жесткостные характеристики при максимально высоких скоростях вращения как у радиального газодинамического подшипника канавочного типа, а упругую характеристику при высокой ударопрочности и несущую способность как у фольгового радиального газодинамического подшипника.

По сравнению с существующим обычным радиальным газодинамическим подшипником канавочного типа, такой подшипник обладает в несколько раз повышенными ударопрочностью и несущей способностью при той же скорости вращения, а по сравнению с существующим чисто фольговым радиальным газодинамическим подшипником он имеет в несколько раз повышенную предельную скорость вращения при той же нагрузке. Испытания показали, что гибридный газодинамический радиальный подшипник согласно настоящему изобретению может использоваться при предельной скорости вращения от 160000 до 480000 об/мин под нагрузкой 3-5 кг, а существующий газодинамический радиальный подшипник может достичь несущей способности только 1-3 кг, а максимальной скорости вращения от 100000 до 180000 об/мин. Очевидно, что настоящее изобретение позволяет применять газодинамические радиальные подшипники в области сверхвысоких скоростей при более высоких нагрузках. По сравнению с предшествующим уровнем техники настоящее изобретение знаменует значительный прогресс и новый шаг в области технологии газодинамического радиального подшипника.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематически в трехмерном изображении показан вид слева частично разрезанного гибридного газодинамического радиального подшипника согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2 показано увеличенное изображение области А на фиг. 1.

На фиг. 3 схематически в трехмерном изображении показан вид справа частично разрезанного гибридного газодинамического радиального подшипника согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 4 показано увеличенное изображение области В на фиг. 3.

На фиг. 5 схематически показан вид в разрезе гибридного газодинамического радиального подшипника согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6 показано увеличенное изображение области С на фиг. 5.

На фиг. 7 показано увеличенное изображение области D на фиг. 6.

На фиг. 8 схематически показан вид в разрезе гибридного газодинамического радиального подшипника согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 9 схематически показан волнообразный лист фольги на фиг. 8.

На фиг. 10 схематически показан вид в разрезе гибридного газодинамического радиального подшипника согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 11 схематически показан плоский лист фольги со сквозными отверстиями на фиг. 10.

На фиг. 12 схематически показан вид в разрезе гибридного газодинамического радиального подшипника согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Ссылочными цифрами на чертежах обозначены следующие элементы:

- 1 - внешняя втулка подшипника;
- 11 - упорное кольцо подшипника;
- 12 - зажимающая канавка;
- 13 - сквозное отверстие;
- 14 - выемка;
- 2 - внутренняя втулка подшипника;
- 21 - канавка на внешней цилиндрической поверхности;
- 211 - верхняя осевая линия;
- 212 - средняя осевая линия;
- 213 - нижняя осевая линия;
- 22 - канавка на левой торцевой поверхности;
- 221 - верхняя радиальная линия;
- 222 - средняя радиальная линия;

- 223 - нижняя радиальная линия;
- 23 - канавка на правой торцевой поверхности;
- 231 - верхняя радиальная линия;
- 232 - средняя радиальная линия;
- 233 - нижняя радиальная линия;
- 3 - фольговый упругий элемент;
- 31 - волнообразный лист фольги;
- 311 - дугообразные выступы;
- 312 - промежуточная нижняя кромка между волнообразными дугами;
- 32 - плоские листы фольги;
- 33 - плоский лист фольги со сквозными отверстиями;
- 331 - сквозное отверстие в плоском листе фольги;
- 34 - износостойкое покрытие.

Осуществление изобретения

Объект настоящего изобретения описан ниже более подробно со ссылками на несколько вариантов осуществления изобретения и сопровождающие графические материалы.

Вариант 1.

Как показано на фиг. 1 и 3, гибридный газодинамический радиальный подшипник согласно этому варианту осуществления изобретения включает внешнюю втулку 1 подшипника и внутреннюю втулку 2 подшипника, причем внешняя цилиндрическая поверхность внутренней втулки 2, а также левая торцевая поверхность и правая торцевая поверхность соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, (которые обозначены на чертежах как 21, 22 и 23 и которые в этом варианте осуществления изобретения имеют форму лопасти), причем имеет место зеркальная симметрия между канавками 22 на левой торцевой поверхности и канавками 23 на правой торцевой поверхности.

Согласно фиг. 1-4, осевые контурные линии канавок 21 на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки 2 подшипника соединены с радиальными контурными линиями канавок 22 на левой торцевой поверхности и канавок 23 на правой торцевой поверхности с обеспечением взаимного соответствия, а именно:

верхние осевые линии 211 канавок 21 на внешней цилиндрической поверхности соединены с верхними радиальными линиями (221 и 231) канавок 22 на левой торцевой поверхности и канавок 23 на правой торцевой поверхности перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности с обеспечением взаимного соответствия;

средние осевые линии 212 канавок 21 на внешней цилиндрической поверхности соединены со средними радиальными линиями (222 и 232) канавок 22 на левой торцевой поверхности и канавок 23 на правой торцевой поверхности перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности с обеспечением взаимного соответствия; и

нижние осевые линии 213 канавок 21 на внешней цилиндрической поверхности соединены с нижними радиальными линиями (223 и 233) канавок 22 на левой торцевой поверхности и канавок 23 на правой торцевой поверхности перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности с обеспечением взаимного соответствия.

Благодаря формированию зеркальной симметрии между канавками 22 на левой торцевой поверхности и канавками 23 на правой торцевой поверхности и обеспечению однозначного взаимного соответствия и соединения друг с другом осевых контурных линий канавок 21 на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки 2 подшипника с радиальными контурными линиями канавок 22 на левой торцевой поверхности и с радиальными контурными линиями канавок 23 на правой торцевой поверхности, сжатый воздух, генерируемый в канавках (22 и 23), выполненных наподобие лопасти, на левой и правой торцевых поверхностях непрерывно перемещается в радиальном направлении от центра вала в канавкообразных каналах, сформированных канавками 21 на внешней цилиндрической поверхности, так что может быть сформирована воздушная пленка, необходимая для обеспечения усиленной опоры при работе подшипника на высокой скорости, а сама воздушная пленка работает как смазка для газодинамического радиального подшипника, при этом может быть обеспечена стабильная работа газодинамического радиального подшипника на высоких скоростях в режиме всплывания в воздухе и дополнительно гарантировано достижение максимально высокой скорости вращения.

Как показано на фиг. 5, гибридный газодинамический радиальный подшипник согласно варианту осуществления изобретения дополнительно содержит фольговый упругий элемент 3, размещенный между внешней втулкой 1 и внутренней втулкой 2. Благодаря клиновидному промежутку, образованному между фольговым упругим элементом 3 и внешней цилиндрической поверхностью внутренней втулки 2, при вращении этой втулки газ, благодаря собственной вязкости, нагнетается в клиновидный промежуток, в результате чего, очевидно, возрастает радиальное динамическое давление, так что поддерживающее усилие может быть увеличено в несколько раз; в то же время, благодаря дополнительно установленному фольговому упругому элементу 3, вследствие его упругого воздействия, несущая способность подшипника может быть увеличена, а ударопрочность подшипника и способность тормозить осевой вихревой

поток значительно повышены. Фольговых упругих элементов 3 может быть несколько (на фиг. 5 показаны три), при этом оба конца каждого фольгового упругого элемента 3 закреплены на внутренней цилиндрической стенке внешней втулки 1.

Как показано на фиг. 5 и 6, фольговый упругий элемент 3 может состоять из волнообразного листа фольги 31 и плоского листа фольги 32, при этом верхний конец дугообразного выступа 311 волнообразного листа фольги 31 прикреплен к плоскому листу фольги 32, промежуточная нижняя кромка волнообразной дуги 312 волнообразного листа фольги 31 прикреплена к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки 1, а на внутренней цилиндрической стенке внешней втулки 1 устроены зажимающие канавки 12 для закрепления обоих концов фольгового упругого элемента 3, причем количество зажимающих канавок 12 соответствует количеству фольговых упругих элементов 3, которые равномерно распределены по внутренней цилиндрической стенке внешней втулки 1.

Как показано на фиг. 7, на согласуемой поверхности каждого фольгового упругого элемента 3, согласованной с внешней цилиндрической поверхностью внутренней втулки 2 (такой, как внутренняя поверхность плоского листа фольги 32, формирующего фольговый упругий элемент 3), размещено износостойкое покрытие для того, чтобы дополнительно снизить истирание фольгового упругого элемента 3 внутренней втулкой 2 подшипника при высокоскоростном вращении последней и тем самым продлить срок службы подшипника.

Кроме того при установке упорных колец 11 соответственно на обоих торцах внешней втулки 1 между двумя торцевыми поверхностями внутренней втулки 2 и упорным кольцом 11 может возникнуть эффект самоуплотнения, вызываемый вращением вала с высокой скоростью, так что находящийся под динамическим давлением газ, непрерывно генерируемый канавками, может быть полностью и герметично закупорен во всем рабочем зазоре подшипника, и тем самым выполнение требований к смазке работающего с высокой скоростью гибридного газодинамического радиального подшипника может быть полностью обеспечено.

Предпочтительно, чтобы фольговый упругий элемент 3 был подвергнут поверхностной термообработке, чтобы лучше удовлетворять эксплуатационным требованиям к работе на высоких скоростях, а зазор между фольговым упругим элементом 3 и внутренней втулкой 2 подшипника составлял 0,003-0,008 мм для дополнительного обеспечения надежности и устойчивости подшипника при работе на высоких скоростях.

Вариант 2.

Как показано на фиг. 8, единственное отличие от гибридного газодинамического радиального подшипника согласно первому варианту осуществления изобретения заключается в том, что фольговый упругий элемент 3 состоит из волнообразного листа фольги 31 и плоского листа фольги 32, при этом верхний конец дугообразного выступа 311 волнообразного листа фольги 31 прикреплен к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки 1 подшипника, а промежуточная нижняя кромка волнообразной дуги 312 волнообразного листа фольги 31 прикреплена к плоскому листу фольги 32.

Конструкция волнообразного листа фольги 31 показана на фиг. 9.

Вариант 3.

Как показано на фиг. 10 и 11, единственное отличие от гибридного газодинамического радиального подшипника согласно первому варианту осуществления изобретения заключается в том, что фольговый упругий элемент 3 состоит из плоского листа фольги 32 и плоского листа фольги 33 со сквозными отверстиями 331.

Вариант 4.

Как показано на фиг. 12, единственное отличие от гибридного газодинамического радиального подшипника согласно первому варианту осуществления изобретения заключается в том, что на внешней цилиндрической поверхности внешней втулки 1 подшипника выполнены соосные выемки 14 и сквозные отверстия 13, при этом сквозное отверстие 13 находится в выемке 14. Сквозные отверстия 13 и выемки 14 предназначены для удобства мониторинга рабочего состояния подшипника в режиме онлайн (например, датчик температуры, датчик давления, датчик скорости вращения и т.п.).

Кроме того, конструкция фольгового упругого элемента 3 не ограничена представленными выше вариантами осуществления изобретения при условии обеспечения согласования фольгового упругого элемента 3 с внешней втулкой и внутренней втулкой для выполнения существенных требований к изобретению.

Результаты испытаний показывают, что гибридный газодинамический радиальный подшипник согласно настоящему изобретению может использоваться при максимальной скорости вращения от 160000 до 480000 об/мин под нагрузкой 3-5 кг, в то время как существующий газодинамический радиальный подшипник может достичь несущей способности только 1-3 кг при максимальной скорости вращения от 100000 до 180000 об/мин. Очевидно, что настоящее изобретение позволяет применять газодинамические радиальные подшипники в областях сверхвысоких скоростей при более высоких нагрузках. По сравнению с предшествующим уровнем техники настоящее изобретение знаменует значительный прогресс и новый шаг в области технологий газодинамического радиального подшипника.

Наконец, следует отметить, что приведенное выше раскрытие изобретения предназначено только для более подробного описания объекта настоящего изобретения и не должно истолковываться как огра-

нение объема изобретения. Несущественные улучшения и модификации, сделанные специалистами в данной области в соответствии с приведенным выше раскрытием, полностью подпадают под объем настоящего изобретения.

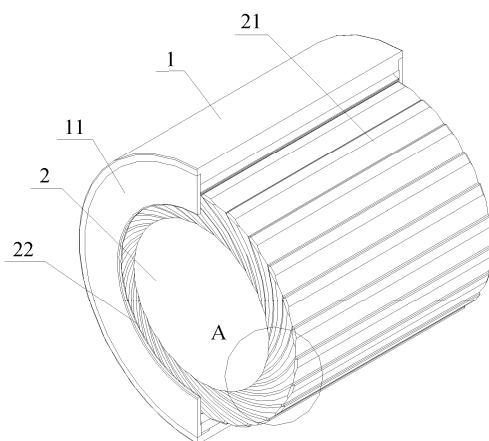
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гибридный газодинамический радиальный подшипник, содержащий внешнюю втулку (1) подшипника, внутреннюю втулку (2) подшипника, имеющую внешнюю цилиндрическую поверхность и две противоположные торцевые поверхности; и фольговый упругий элемент (3), размещенный между внешней втулкой (1) подшипника и внутренней втулкой (2) подшипника, при этом внешняя цилиндрическая поверхность и обе торцевые поверхности внутренней втулки подшипника соответственно снабжены несколькими канавками, причем каждая канавка (21) на внешней цилиндрической поверхности имеет верхние осевые линии (211), средние осевые линии (212) и нижние осевые линии (213); каждая канавка (22) на одной из торцевых поверхностей имеет верхние радиальные линии (221), средние радиальные линии (222) и нижние радиальные линии (223); каждая канавка (23) на другой торцевой поверхности имеет верхние радиальные линии (231), средние радиальные линии (232) и нижние радиальные линии (233); и канавки на одной из торцевых поверхностей расположены зеркально симметрично канавкам на другой торцевой поверхности, а осевые контурные линии канавок на внешней цилиндрической поверхности и радиальные контурные линии канавок на обеих торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного соответствия, а именно:
 - верхние осевые линии (211) канавок (21) на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки подшипника соответствуют верхним радиальным линиям (221) канавок (22) на одной из торцевых поверхностей и верхним радиальным линиям (231) канавок (23) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности;
 - средние осевые линии (212) канавок (21) на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки подшипника соответствуют средним радиальным линиям (222) канавок (22) на одной из торцевых поверхностей и средним радиальным линиям (232) канавок (23) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности;
 - нижние осевые линии (213) канавок (21) на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки подшипника соответствуют нижним радиальным линиям (223) канавок (22) на одной из торцевых поверхностей и нижним радиальным линиям (233) канавок (23) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности.
2. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1, в котором на согласуемой поверхности фольгового упругого элемента, согласованной с внешней цилиндрической поверхностью внутренней втулки подшипника, размещено износостойкое покрытие.
3. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1 или 2, в котором между фольговым упругим элементом и внутренней втулкой подшипника имеется зазор, составляющий 0,003-0,008 мм.
4. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1, в котором оба конца фольгового упругого элемента закреплены на внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника.
5. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1 или 4, содержащий несколько фольговых упругих элементов, которые равномерно распределены по внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника.
6. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1 или 4, в котором на внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника устроена зажимающая канавка, используемая для закрепления фольгового упругого элемента.
7. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1, в котором фольговый упругий элемент подвергнут поверхностной термообработке.
8. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1 или 7, в котором фольговый упругий элемент состоит из волнообразного листа фольги и плоского листа фольги, при этом верхний конец дугообразного выступа волнообразного листа фольги прикреплен к плоскому листу фольги, а промежуточная нижняя кромка волнообразной дуги волнообразного листа фольги прикреплена к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника.
9. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1 или 7, в котором фольговый упругий элемент состоит из волнообразного листа фольги и плоского листа фольги, при этом верхний конец дугообразного выступа волнообразного листа фольги прикреплен к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника, а промежуточная нижняя кромка волнообразной дуги волнообразного листа фольги прикреплена к плоскому листу фольги.
10. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1 или 7, в котором фольговый упругий

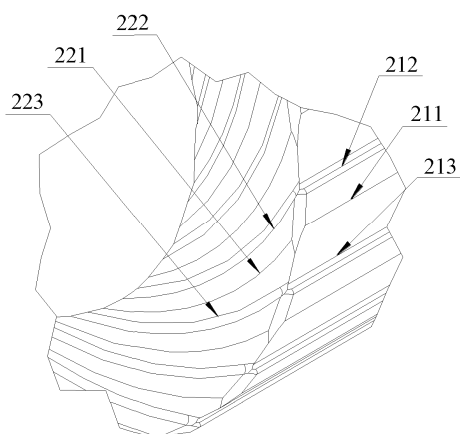
элемент состоит из двух плоских листов фольги, при этом в плоском листе фольги, расположенном ближе к внутренней цилиндрической стенке внешней втулки подшипника, выполнены сквозные отверстия.

11. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.1, в котором на обоих торцах внешней втулки подшипника размещены упорные кольца.

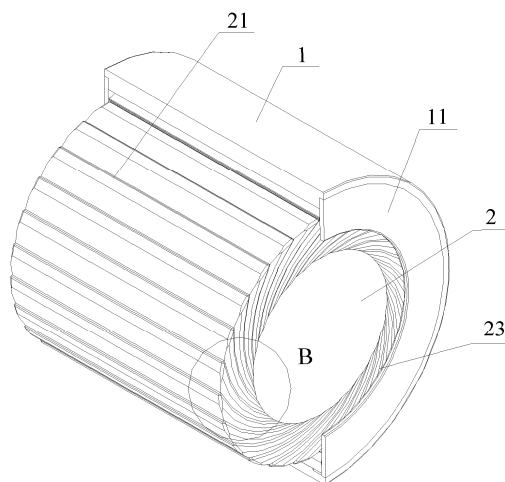
12. Гибридный газодинамический радиальный подшипник по п.11, в котором на внешней цилиндрической поверхности внешней втулки подшипника выполнены соосные выемки и сквозные отверстия, при этом сквозные отверстия находятся в выемках на одной и той же оси.



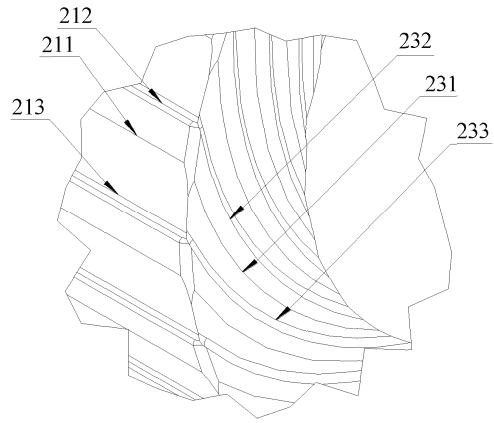
Фиг. 1



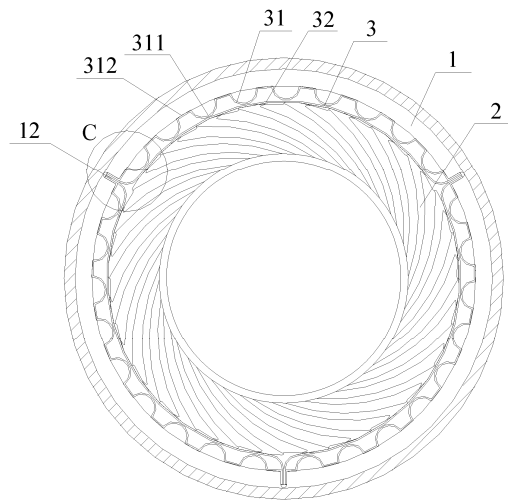
Фиг. 2



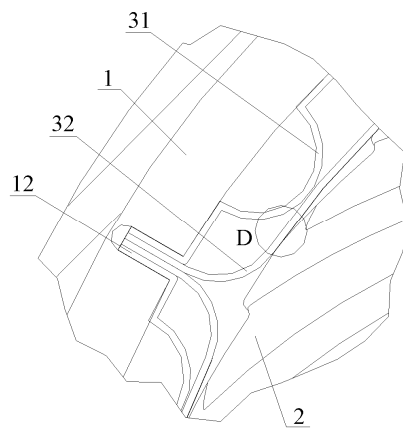
Фиг. 3



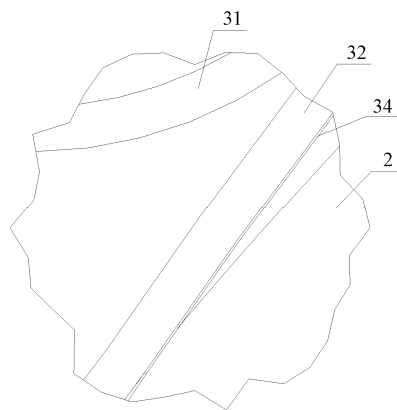
Фиг. 4



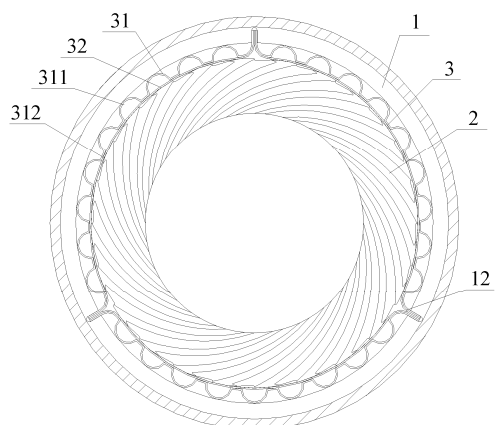
Фиг. 5



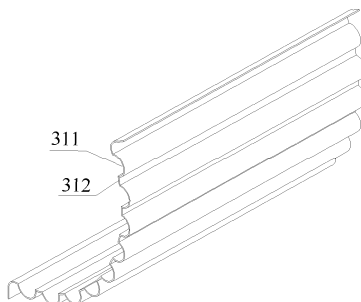
Фиг. 6



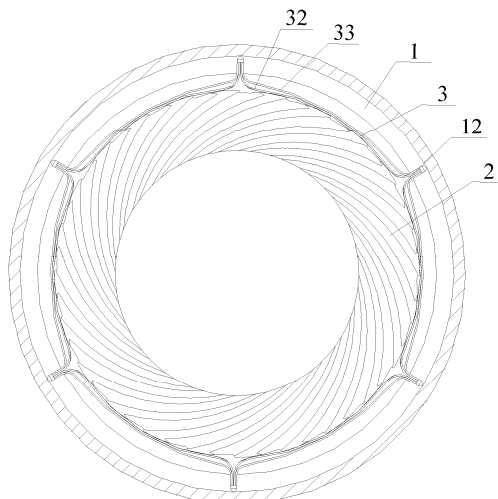
Фиг. 7



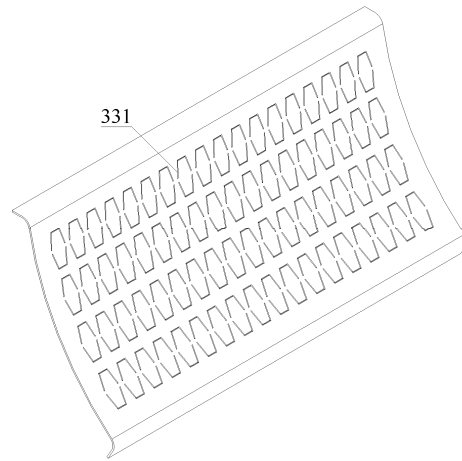
Фиг. 8



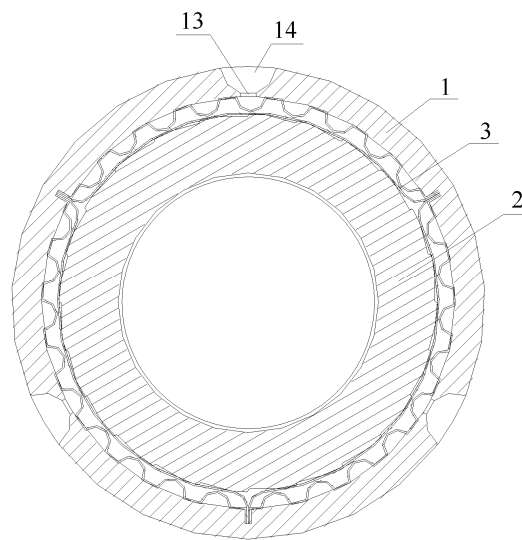
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

