

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035187**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.05.12

(51) Int. Cl. **F16C 17/08** (2006.01)
F16C 33/02 (2006.01)

(21) Номер заявки
201792556

(22) Дата подачи заявки
2015.05.19

(54) **ГИБРИДНЫЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ОСЕВОЙ ПОДШИПНИК**

(43) **2018.07.31**

(86) **PCT/CN2015/079234**

(87) **WO 2016/183788 2016.11.24**

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

ЛО ЛИФЭН (CN)

(56) CN-U-202091349
CN-A-101463868
CN-A-102753849
US-A-4277113
US-A-4116503
US-A-4597677

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

(57) Гибридный газодинамический осевой подшипник содержит два внешних диска, внутренний диск, зажатый между двумя внешними дисками, и фольговые упругие элементы, размещённые между каждым из внешних дисков и внутренним диском; при этом обе торцевые поверхности внутреннего диска соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, а канавка на одной из торцевых поверхностей расположена зеркально симметрично канавке на другой торцевой поверхности. Гибридный газодинамический осевой подшипник согласно настоящему изобретению обладает жесткостными характеристиками при максимально высокой скорости вращения, как у газодинамического осевого подшипника канавочного типа, и упругой характеристикой при высокой ударопрочности и несущей способностью, как у газодинамического осевого фольгового подшипника, что позволяет применять газодинамические осевые подшипники в областях сверхвысоких скоростей при более высоких нагрузках.

035187

B1

035187

B1

Область техники

Настоящее изобретение касается газодинамического осевого подшипника, в частности гибридного газодинамического осевого подшипника, обладающего при максимально высоких скоростях вращения жёсткостной характеристикой как у газодинамического осевого подшипника канавочного типа, и упругой характеристикой высокой ударпрочности, а также несущей способностью газодинамического осевого 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 прочими. 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 подшипнике газ играет роль смазки, а газовая плёнка формируется между валом и подшипником. Именно в подшипнике такого типа подвижная поверхность не находится в прямом контакте с неподвижной поверхностью, и это даёт 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.

Газодинамический осевой 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 осевых подшипников определяются конструктивными различиями, при этом рабочий процесс отличается незначительно. В настоящее время наиболее распространёнными конструктивными типами газодинамических осевых подшипников являются самоустанавливающиеся сегментные подшипники, подшипники канавочного типа и фольговые подшипники.

Самоустанавливающийся сегментный газодинамический осевой подшипник представляет собой наилучший тип газодинамических подшипников с самонастраивающимся рабочим режимом, который может надёжно работать при уменьшенных воздушных зазорах и не чувствителен 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 осевому подшипнику, поэтому сфера его применения ограничена.

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

Газодинамический осевой подшипник канавочного типа обладает хорошей устойчивостью, причём 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 осевой подшипник канавочного типа обладает высокой жёсткостью, его ударпрочность 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 осевого подшипника, имеющего жесткостные характеристики при максимально высокой скорости вращения, как у газодинамического осевого подшипника канавочного типа, а упругую характеристику при высокой ударпрочности и несущую способность, как у газодинамического осевого фольгового подшипника. Далее, с точки зрения перспективы, весьма важно достичь того, чтобы газодинамические осевые 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 осевого подшипника, имеющего жёсткостные характеристики при максимально высокой скорости вращения, как у газодинамического осевого подшипника канавочного типа, а упругую характеристику при высокой ударопрочности и несущую способность, как у газодинамического осевого фольгового подшипника, а также достижение того, чтобы газодинамические осевые подшипники работали в областях сверхвысоких скоростей при повышенной нагрузке.

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

гибридный газодинамический осевой подшипник, содержащий два внешних диска, внутренний диск, зажатый между двумя внешними дисками, и фольговые упругие элементы, размещённые между каждым из внешних дисков и внутренним диском; при этом обе торцевые поверхности внутреннего диска соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, причём канавка на одной из торцевых поверхностей расположена зеркально симметрично канавке на другой торцевой поверхности.

В одном из вариантов осуществления изобретения канавки также выполнены на внешней цилиндрической поверхности внутреннего диска, при этом канавки на внешней цилиндрической поверхности и канавки на левой и правой торцевых поверхностях имеют одну и ту же форму, 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 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 между фольговым упругим элементом и внутренним диском имеется зазор, составляющий 0,003-0,008 мм.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения по меньшей мере один конец фольгового упругого элемента закреплён на внутренней торцевой поверхности соответствующего внешнего диска.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения имеется несколько фольговых упругих элементов, которые равномерно распределены по внутренней торцевой поверхности каждого внешнего диска.

В более предпочтительном варианте осуществления изобретения фольговый упругий элемент, закреплённый на одном из внешних дисков, расположен зеркально симметрично фольговому упругому элементу на другом внешнем диске.

В более предпочтительном варианте осуществления изобретения на внутренней торцевой поверхности внешнего диска выполнена зажимающая канавка, используемая 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 поверхности соответствующего внешнего диска.

По сравнению с предшествующим уровнем техники настоящее изобретение даёт следующие преимущества:

фольговый упругий элемент размещён между внешним диском и внутренним диском, а на левой и правой торцевых поверхностях внутреннего диска выполнены канавки одной и той же формы, причём канавка на одной из торцевых поверхностей расположена зеркально симметрично канавке на другой торцевой поверхности, в результате чего получается гибридный газодинамический осевой подшипник, имеющий жёсткостные характеристики при максимально высоких скоростях вращения как у газодинамического осевого подшипника канавочного типа, а упругую характеристику при высокой ударопрочности и несущую способность как у газодинамического осевого фольгового подшипника.

По сравнению с существующим обычным газодинамическим осевым подшипником канавочного

типа такой подшипник согласно настоящему изобретению обладает в несколько раз повышенными ударопрочностью и несущей способностью при той же скорости вращения, а по сравнению с существующим чисто фольговым газодинамическим осевым подшипником он имеет в несколько раз повышенную предельную скорость вращения при той же нагрузке. Испытания показали, что гибридный газодинамический осевой подшипник согласно настоящему изобретению может использоваться при предельной скорости вращения от 200000 до 450000 оборотов в минуту под нагрузкой 1-3 кг, а существующий газодинамический осевой подшипник может достичь несущей способности только 0,5-1,5 кг а максимальной скорости вращения от 100000 до 200000 оборотов в минуту. Очевидно, что настоящее изобретение позволяет применять газодинамические осевые 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 осевого подшипника.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематически показан вид в разрезе гибридного газодинамического осевого подшипника согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2а показан вид слева внутреннего диска согласно первому варианту осуществления.

На фиг. 2b показан вид справа внутреннего диска согласно первому варианту осуществления.

На фиг. 3а показан вид справа левого внешнего диска с фольговым упругим элементом, закреплённым согласно первому варианту осуществления.

На фиг. 3b показан вид слева правого внешнего диска с фольговым упругим элементом, закреплённым согласно первому варианту осуществления.

На фиг. 4 схематически показан вид в разрезе фольгового упругого элемента согласно первому варианту осуществления.

На фиг. 5 схематически в трёхмерном изображении показан фольговый упругий элемент согласно первому варианту осуществления.

На фиг. 6а схематически в трёхмерном изображении показан вид слева гибридного газодинамического осевого подшипника согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6b схематически в трёхмерном изображении показан вид справа гибридного газодинамического осевого подшипника согласно второму варианту осуществления.

На фиг. 7 схематически в трёхмерном изображении показана часть гибридного газодинамического осевого подшипника согласно второму варианту осуществления.

На фиг. 8 схематически в трёхмерном изображении показан вид слева внутреннего диска согласно второму варианту осуществления.

На фиг. 9 показано увеличенное изображение области А на фиг. 8.

На фиг. 10 схематически в трёхмерном изображении показан вид справа внутреннего диска согласно второму варианту осуществления.

На фиг. 11 показано увеличенное изображение области В на фиг. 10.

Ссылочными номерами на чертежах обозначены следующие элементы:

1 - Внешний диск.

2 - Внутренний диск.

11 - Левый внешний диск.

12 - Правый внешний диск.

13 - Зажимающая канавка.

21 - Канавка на левой торцевой поверхности.

22 - Канавка на правой торцевой поверхности.

23 - Канавка на внешней цилиндрической поверхности.

211 - Верхняя радиальная линия.

212 - Средняя радиальная линия.

213 - Нижняя радиальная линия.

221 - Верхняя радиальная линия.

222 - Средняя радиальная линия.

223 - Нижняя радиальная линия.

231. Верхняя осевая линия.

232 - Средняя осевая линия.

233 - Нижняя осевая линия.

3 - Фольговый упругий элемент.

3а - Фольговый упругий элемент, закреплённый на левом внешнем диске.

3b - Фольговый упругий элемент, закреплённый на правом внешнем диске.

31 - Волнообразный лист фольги.

32 - Плоские листы фольги.

33 - Закреплённый конец

311 - Дугообразные выступы.

312 - Промежуточные нижние кромки между волнообразными дугами.

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, гибридный газодинамический осевой подшипник согласно этому варианту осуществления изобретения, включает два внешних диска 1, внутренний диск 2, зажатый между двумя внешними дисками 1, причём между каждым из внешних дисков 1 и внутренним диском 2 размещён фольговый упругий элемент 3, на левой торцевой поверхности внутреннего диска 2 выполнены равномерно расположенные канавки 21, а на правой торцевой поверхности внутреннего диска 2 выполнены равномерно расположенные канавки 22.

Как показано на фиг. 2а и 2б, канавки 21 на левой торцевой поверхности внутреннего диска 2 расположены зеркально симметрично канавкам 22 на правой торцевой поверхности внутреннего диска 2. Радиальные контурные линии канавок 21 на левой торцевой поверхности и канавок 22 на правой торцевой поверхности соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия. Канавки 21 и 22 имеют одинаковую форму. В этом варианте осуществления изобретения эта форма представляет собой лопасть.

Кроме того, как показано на фиг. 3а и 3б, фольговые упругие элементы 3 закреплены на внутренней торцевой поверхности соответствующего внешнего диска 1 (например, фольговый упругий элемент 3а закреплён на левом внешнем диске 11, как показано на фиг. 3а, а фольговый упругий элемент 3б закреплён на правом внешнем диске 12, как показано на фиг. 3б), причём фольговый упругий элемент 3а, закреплённый на левом внешнем диске 11, расположен зеркально симметрично фольговому упругому элементу 3б, закреплённому на правом внешнем диске 12. На каждом из внешних дисков может располагаться несколько фольговых упругих элементов (на фиг. 3а и 3б показано четыре), при этом они равномерно распределены по внутренней торцевой поверхности внешнего диска.

Как показано на фиг. 1, 4 и 5, 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 торцевой поверхности соответствующего внешнего диска 1; по меньшей мере один конец каждого фольгового упругого элемента 3 закреплён на внутренней торцевой поверхности соответствующего внешнего диска (в этом варианте осуществления изобретения один конец 33 каждого фольгового упругого элемента 3 закреплён, как показано на чертеже, а другой конец свободен).

Вариант 2.

Как показано на фиг. 6а, 6б, 7, 8 и 10, единственное отличие от гибридного газодинамического осевого подшипника согласно первому варианту осуществления изобретения заключается в том, что канавки 23 также выполнены на внешней цилиндрической поверхности внутреннего диска 2, при этом канавка 23 на внешней цилиндрической поверхности и канавки 21 и 22 на левой и правой торцевых поверхностях имеют одну и ту же форму (в этом варианте осуществления изобретения канавки имеют форму лопасти), а осевые контурные линии канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности и канавок (21, 22) на левой и правой торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия, а именно:

верхние осевые линии 231 канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности соответствуют верхним радиальным линиям 211 канавок 21 на левой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на этой торцевой поверхности;

средние осевые линии 232 канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности соответствуют средним радиальным линиям 212 канавок 21 на левой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на этой торцевой поверхности;

нижние осевые линии 233 канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности соответствуют нижним радиальным линиям 213 канавок 21 на левой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на этой торцевой поверхности (как показано на фиг. 9);

верхние осевые линии 231 канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности соответствуют верхним радиальным линиям 221 канавок 22 на правой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на этой торцевой поверхности;

средние осевые линии 232 канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности соответствуют средним радиальным линиям 222 канавок 22 на правой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на этой торцевой поверхности;

нижние осевые линии 233 канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности соответствуют нижним радиальным линиям 223 канавок 22 на правой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на этой торцевой поверхности (как показано на фиг. 11).

На внутренней торцевой поверхности внешнего диска 1 выполнена зажимающая канавка 13 для закрепления фольгового упругого элемента 3 (как показано на фиг. 7).

Благодаря наличию фольгового упругого элемента 3, размещённого между внешним диском 1 и

внутренним диском 2, канавок одной и той же формы, выполненных на левой и правой торцевых поверхностях внутреннего диска 2, а также тому, что канавки 21 на левой торцевой поверхности зеркально симметричны канавкам 22 на правой торцевой поверхности, удаётся получить гибридный газодинамический осевой подшипник, имеющий жёсткостные характеристики при максимально высоких скоростях вращения как у газодинамического осевого подшипника канавочного типа, а упругую характеристику при высокой ударопрочности и несущую способность как у газодинамического осевого фольгового подшипника.

Благодаря клиновидному промежутку, образованному между фольговым упругим элементом 3 и внутренним диском 2, при вращении внутреннего диска 2 газ, благодаря собственной вязкости, нагнетается в клиновидный промежуток, в результате чего, очевидно, возрастает осевое динамическое давление. По сравнению с существующим обычным газодинамическим осевым фольговым подшипником гибридный газодинамический осевой подшипник может эксплуатироваться при той же нагрузке, но в несколько раз большей предельной скорости вращения.

В то же время, благодаря наличию фольгового упругого элемента 3, вследствие его упругого воздействия значительно повышаются несущая способность, ударопрочность и способность тормозить осевой вихревой поток. По сравнению с существующим обычным газодинамическим осевым подшипником канавочного типа гибридный газодинамический осевой подшипник имеет повышенные в несколько раз ударопрочность и несущую способность при той же скорости вращения.

В частности, благодаря наличию канавок 23, выполненных также и на внешней цилиндрической поверхности внутреннего диска 2, при этом той же формы, что и канавки 21 на левой торцевой поверхности и канавки 22 на правой торцевой поверхности, а также тому, что осевые контурные линии канавок 23 на внешней цилиндрической поверхности и радиальные контурные линии канавок (21, 22) на левой и правой торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия, сжатый воздух, генерируемый в канавках (21 и 22) на левой и правой торцевых поверхностях внутреннего диска 2, непрерывно перемещается в радиальном направлении от центра вала в канавкообразных каналах, сформированных канавками 23 на внешней цилиндрической поверхности, так что может быть сформирована воздушная плёнка для обеспечения усиленной опоры при работе подшипника на высокой скорости, а сама воздушная плёнка работает как смазка для газодинамического осевого подшипника, при этом может быть обеспечена стабильная работа газодинамического осевого подшипника на высоких скоростях в режиме всплывания в воздухе и дополнительно гарантировано достижение максимально высокой скорости вращения.

Далее 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 внутренним диском 2 составлял 0,003-0,008 мм для дополнительного обеспечения надёжности и устойчивости подшипника при работе на высоких скоростях.

Кроме того конструкция фольгового упругого элемента 3 не ограничена представленными выше вариантами осуществления изобретения, при условии обеспечения согласования между внутренним и внешними дисками для выполнения существенных требований к настоящему изобретению.

Результаты испытаний показывают, что гибридный газодинамический осевой подшипник согласно настоящему изобретению может использоваться при максимальной скорости вращения от 200000 до 450000 оборотов в минуту под нагрузкой 1-5 кг, в то время как существующий газодинамический осевой подшипник может достичь несущей способности только 0,5-1,5 кг при максимальной скорости вращения от 100000 до 200000 оборотов в минуту. Очевидно, что настоящее изобретение позволяет применять газодинамические осевые 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 технологии газодинамического осевого подшипника.

Наконец, следует отметить, что приведённое выше раскрытие изобретения предназначено только для более подробного описания объекта настоящего изобретения и не должно истолковываться как ограничение объёма изобретения. Несущественные улучшения и модификации, сделанные специалистами в данной области в соответствии с приведенным выше раскрытием, полностью подпадают под объём настоящего изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гибридный газодинамический осевой подшипник, содержащий два внешних диска (11, 12), внутренний диск (2), зажатый между одним внешним диском (11) и другим внешним диском (12) и имеющий внешнюю цилиндрическую поверхность и две противоположные торцевые поверхности; фольговый упругий элемент (3а), размещённый между внешним диском (11) и внутренним диском (2); другой фольговый упругий элемент (3б), размещённый между внешним диском (12) и внутренним

диском (2);

при этом обе торцевые поверхности и внешняя цилиндрическая поверхность внутреннего диска соответственно снабжены несколькими канавками,

причём каждая канавка (21) на одной из торцевых поверхностей имеет верхние радиальные линии (211), средние радиальные линии (212) и нижние радиальные линии (213);

каждая канавка (22) на другой торцевой поверхности имеет верхние радиальные линии (221), средние радиальные линии (222) и нижние радиальные линии (223);

каждая канавка (23) на внешней цилиндрической поверхности имеет верхние осевые линии (231), средние осевые линии (232) и нижние осевые линии (233) и

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 обеих торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия, а именно:

верхние осевые линии (231) канавок (23) на внешней цилиндрической поверхности соответствуют верхним радиальным линиям (211) канавок (21) на одной из торцевых поверхностей и верхним радиальным линиям (221) канавок (22) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности;

средние осевые линии (232) канавок (23) на внешней цилиндрической поверхности соответствуют средним радиальным линиям (212) канавок (21) на одной из торцевых поверхностей и средним радиальным линиям (222) канавок (22) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности;

нижние осевые линии (233) канавок (23) на внешней цилиндрической поверхности соответствуют нижним радиальным линиям (213) канавок (21) на одной из торцевых поверхностей и нижним радиальным линиям (223) канавок (22) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом перед периферийным скосом на каждой торцевой поверхности.

2. Гибридный газодинамический осевой подшипник по п.1, в котором между фольговым упругим элементом и внутренним диском имеется зазор, составляющий 0,003-0,008 мм.

3. Гибридный газодинамический осевой подшипник по п.1, в котором по меньшей мере один конец фольгового упругого элемента закреплён на внутренней торцевой поверхности соответствующего внешнего диска.

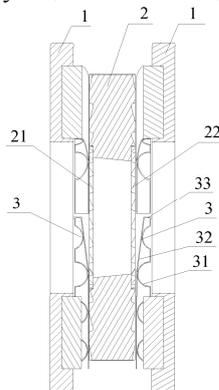
4. Гибридный газодинамический осевой подшипник по п.3, содержащий на каждом из внешних дисков несколько фольговых упругих элементов, которые равномерно распределены по внутренней торцевой поверхности соответствующего внешнего диска.

5. Гибридный газодинамический осевой подшипник по п.3 или 4, в котором фольговый упругий элемент, закреплённый на одном из внешних дисков, расположен зеркально симметрично фольговому упругому элементу, закреплённому на другом внешнем диске.

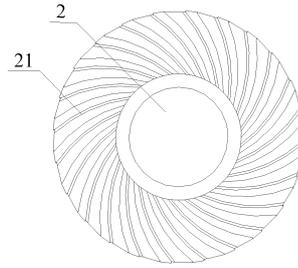
6. Гибридный газодинамический осевой подшипник по п.3 или 4, в котором на внутренней торцевой поверхности внешнего диска выполнена зажимающая канавка, используемая для закрепления фольгового упругого элемента.

7. Гибридный газодинамический осевой подшипник по п.1, в котором фольговый упругий элемент подвергнут поверхностной термообработке.

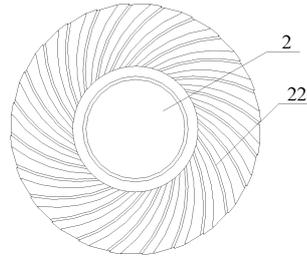
8. Гибридный газодинамический осевой подшипник по любому из пп.1, 2, 3, 4 и 7, в котором фольговый упругий элемент состоит из волнообразного листа фольги и плоского листа фольги, при этом верхний конец дугообразного выступа волнообразного листа фольги прикреплен к плоскому листу фольги, а промежуточная нижняя кромка волнообразной дуги волнообразного листа фольги прикреплена к внутренней торцевой поверхности соответствующего внешнего диска.



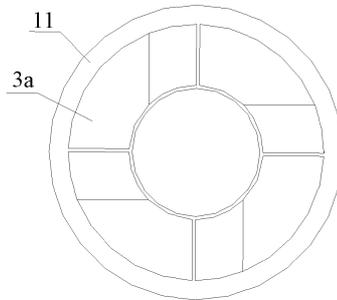
Фиг. 1



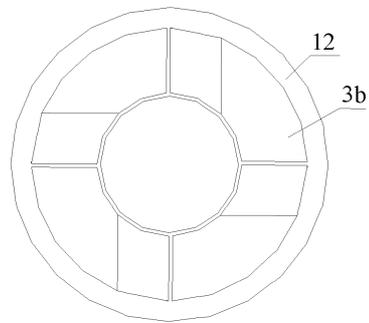
Фиг. 2а



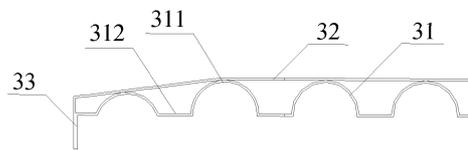
Фиг. 2б



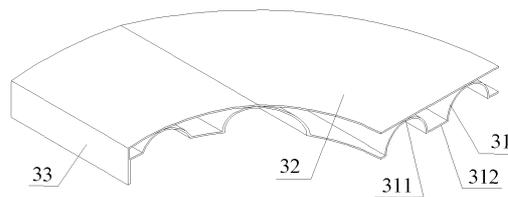
Фиг. 3а



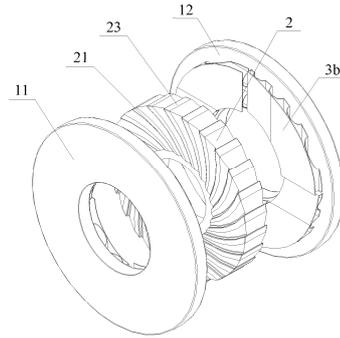
Фиг. 3б



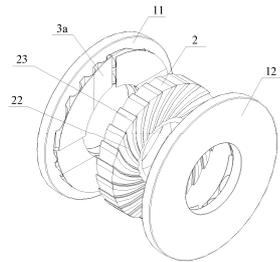
Фиг. 4



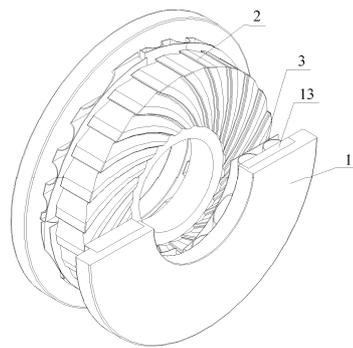
Фиг. 5



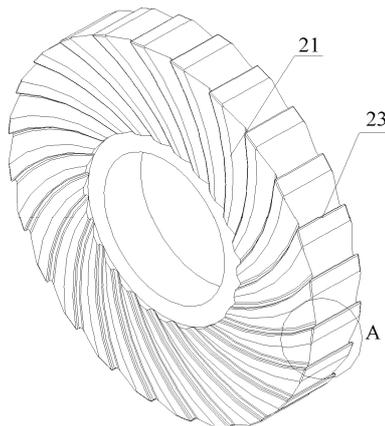
Фиг. 6а



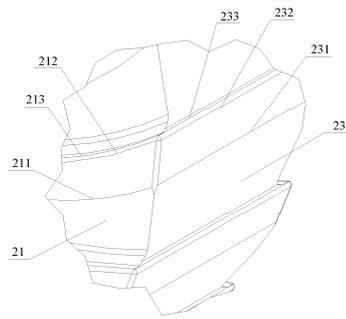
Фиг. 6б



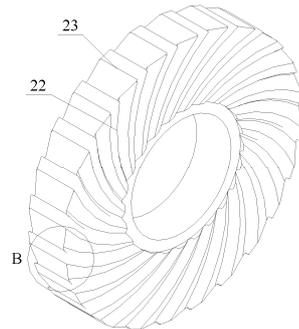
Фиг. 7



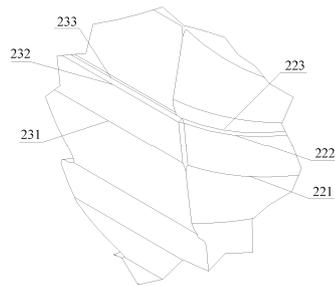
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11