

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035430**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.06.15**

(51) Int. Cl. *F16C 32/06* (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201792554**

(22) Дата подачи заявки  
**2015.05.19**

---

(54) **ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАДИАЛЬНЫЙ ПОДШИПНИК КАНАВОЧНОГО ТИПА**

---

(43) **2018.07.31**

(56) CN-A-102242762

(86) **PCT/CN2015/079233**

JP-A-2000283155

(87) **WO 2016/183787 2016.11.24**

US-A1-2002164096

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

JP-A-2006097894

**ЛО ЛИФЭН (CN)**

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

---

(57) Предложен газодинамический радиальный подшипник канавочного типа, содержащий внешнюю втулку подшипника и внутреннюю втулку подшипника, при этом внешняя цилиндрическая поверхность и две торцевые поверхности внутренней втулки подшипника соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, причём 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. Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа согласно настоящему изобретению может достигать нагрузочной способности 1-3 кг и максимальной скорости вращения от 200000 до 450000 об/мин, что позволяет применять газодинамические радиальные подшипники канавочного типа в областях сверхвысоких скоростей.

**B1**

**035430**

**035430**

**B1**

### **Область техники**

Настоящее изобретение относится к области газовых подшипников, в частности касается газодинамического радиального подшипника канавочного типа.

### **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 радиальном 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.

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 распространёнными 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 надёжно работать при уменьшенных воздушных зазорах и 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 надёжную 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 жёсткость 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, причём некоторая устойчивость достигается даже без нагрузки, а при высоких скоростях статическая несущая способность у него выше, чем у других видов подшипников. Однако известный газодинамический радиальный подшипник канавочного типа может достигать несущей способности, составляющей всего 0,5-1,5 кг, и максимальной скорости вращения, составляющей всего 100000-200000 оборотов в минуту, при этом он не подходит для применения в областях сверхвысоких скоростей при больших нагрузках.

### **Раскрытие изобретения**

Ввиду рассмотренных выше проблем уровня техники целью настоящего изобретения является создание газодинамического радиального подшипника канавочного типа, 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:

газодинамический радиальный подшипник канавочного типа, содержащий внешнюю втулку подшипника и внутреннюю втулку, при этом внешняя цилиндрическая поверхность и две торцевые поверх-

ности внутренней втулки подшипника соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, причём 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 двух 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 двух 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 внешней втулкой подшипника и внутренней втулкой подшипника имеется зазор, составляющий 0,003-0,008 мм.

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

В предпочтительном варианте осуществления изобретения на внешней цилиндрической поверхности 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 даёт следующие преимущества:

Согласно настоящему изобретению, внешняя цилиндрическая поверхность и две торцевые поверхности внутренней втулки подшипника снабжены равномерно расположенными канавками, при этом канавка на одной из торцевых поверхностей расположена зеркально симметрично канавке на другой торцевой поверхности, осевые контурные линии канавок на внешней цилиндрической поверхности и радиальные контурные линии канавок на двух торцевых поверхностях соединены друг с другом с обеспечением однозначного взаимного соответствия, так что сжатый воздух, генерируемый в канавках на левой и правой торцевых поверхностях, непрерывно перемещается в радиальном направлении от центра вала в канавкообразных каналах, образованных канавками на внешней цилиндрической поверхности, при этом может быть сформирована воздушная плёнка, необходимая для обеспечения усиленной опоры при работе подшипника на высоких скоростях, а сама воздушная плёнка 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.

Согласно результатам испытаний радиальный газодинамический подшипник канавочного типа согласно настоящему изобретению может достигать несущей способности 1-3 кг и максимальной скорости вращения от 200 000 до 450 000 об/мин, а известный газодинамический радиальный подшипник канавочного типа может достигать несущей способности, составляющей всего 0,5-1,5 кг, и максимальной скорости вращения, составляющей всего от 100000 до 200000 об/мин. Очевидно, что настоящее изобретение позволяет применять газодинамические радиальные подшипники канавочного типа в области сверхвысоких скоростей. Настоящее изобретение имеет существенные отличия от уровня техники.

#### **Краткое описание чертежей**

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

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

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

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

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

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

Ссылочными номерами на чертежах обозначены следующие элементы:

1. Внешняя втулка подшипника.
11. Упорное кольцо подшипника.
12. Сквозное отверстие.
13. 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.

### 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 фиг. 3, газодинамический радиальный подшипник канавочного типа, согласно этому варианту осуществления изобретения включает внешнюю втулку 1 подшипника и внутреннюю втулку 2 подшипника, причём внешняя цилиндрическая поверхность внутренней втулки 2, а также левая торцевая поверхность и правая торцевая поверхность соответственно снабжены равномерно расположенными канавками, (которые обозначены на чертежах ссылочными номерами 21, 22 и 23 и все из которых в этом варианте осуществления изобретения имеют форму лопасти), причём имеет место зеркальная симметрия между канавкой 22 на левой торцевой поверхности и канавкой 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 наличию канавок (21, 22, 23) правильной формы на внешней цилиндрической поверхности и двух торцевых поверхностях внутренней втулки 2 подшипника, формированию зеркальной симметрии между канавкой 22 на левой торцевой поверхности и канавкой 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 плёнка, необходимая для обеспечения усиленной опоры при работе подшипника на высоких скоростях, а сама воздушная плёнка 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.

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 канавкой, может быть полностью и герметично закупорен во всем рабочем зазоре подшипника, и тем самым выполнение требований к смазке работающего с высокой скоростью газодинамического радиального подшипника может быть полностью обеспечено.

Зазор между внешней втулкой 1 подшипника и внутренней втулкой 2 подшипника предпочтительно составляет 0,003-0,008 мм для дополнительного обеспечения надёжности и устойчивости подшипника при работе на высоких скоростях.

#### Вариант 2

Как показано на фиг. 5 и фиг. 6, единственное отличие от газодинамического радиального подшипника канавочного типа согласно первому варианту осуществления изобретения заключается в том, что на внешней цилиндрической поверхности внешней втулки 1 подшипника выполнены соосные выемки 13 и сквозные отверстия 12, при этом сквозное отверстие 12 находится в выемке 13. Сквозные отверстия 12 и выемки 13 предназначены для удобства мониторинга рабочего состояния подшипника в режиме он-лайн (например, датчик температуры, датчик давления, датчик скорости вращения и т.п.).

Результаты испытаний показывают, что газодинамический радиальный подшипник канавочного типа согласно настоящему изобретению может достигать нагрузочной способности 1-3 кг и максимальной скорости вращения от 200 000 до 450 000 об/мин, в то время как известный газодинамический радиальный подшипник канавочного типа может достигать несущей способности всего 0,5-1,5 кг и максимальной скорости вращения от 100 000 до 200 000 об/мин. Очевидно, что настоящее изобретение позволяет применять газодинамические радиальные подшипники канавочного типа в областях сверхвысоких скоростей. Настоящее изобретение имеет существенные отличия от уровня техники.

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. Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа, содержащий:

внешнюю втулку (1) подшипника, внутреннюю втулку (2) подшипника, имеющую внешнюю цилиндрическую поверхность и две противоположные торцевые поверхности; при этом внешняя цилиндрическая поверхность и две торцевые поверхности внутренней втулки подшипника соответственно снабжены несколькими канавками, причём 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 взаимного 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; а

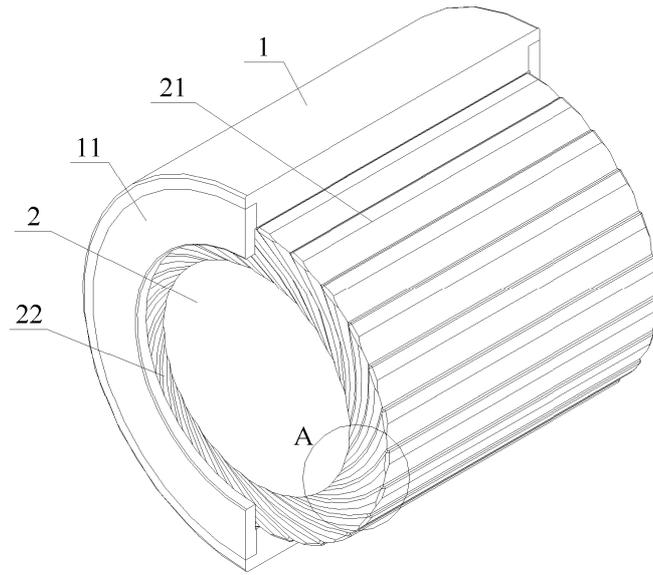
нижние осевые линии (213) канавок (21) на внешней цилиндрической поверхности внутренней втулки подшипника соответствуют нижним радиальным линиям (223) канавок (22) на одной из торцевых поверхностей и нижним радиальным линиям (233) канавок (23) на другой торцевой поверхности и соединены друг с другом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

2. Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа по п.1, в котором между внешней втулкой подшипника и внутренней втулкой подшипника имеется зазор, составляющий 0,003-0,008 мм.

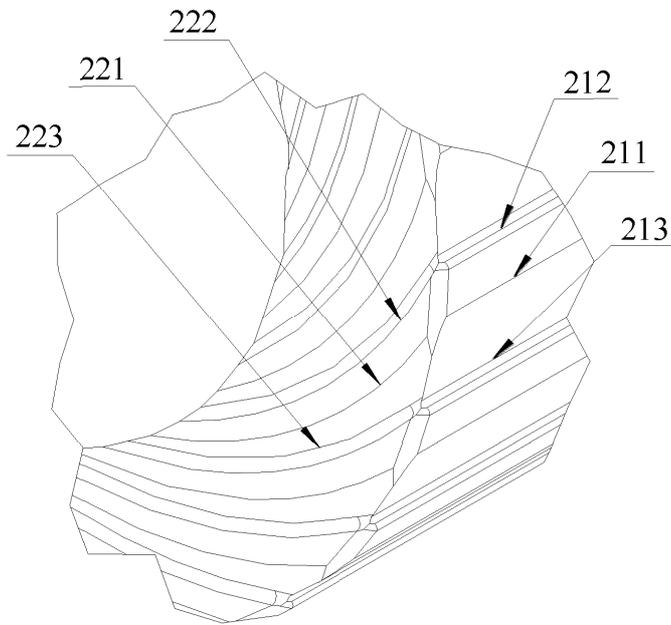
3. Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа по п.1 или 2, в котором на обоих торцах внешней втулки подшипника размещены упорные кольца.

4. Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа по п.1 или 2, в котором на внешней цилиндрической поверхности внешней втулки подшипника выполнены соосные выемки и сквозные отверстия.

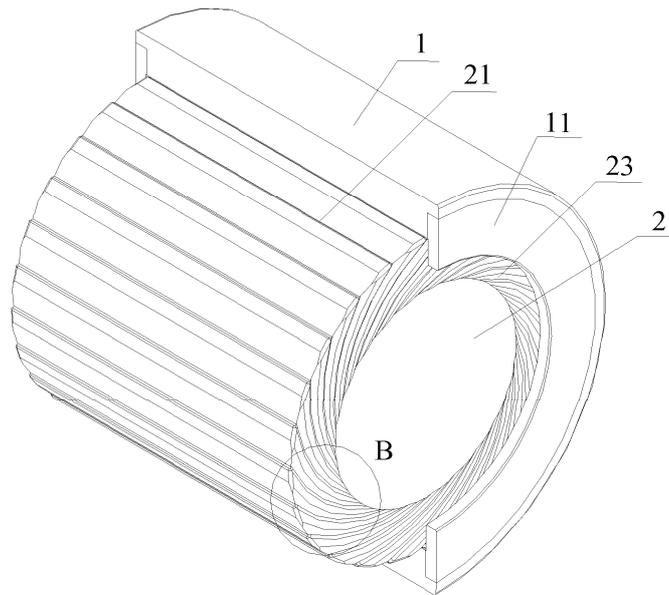
5. Газодинамический радиальный подшипник канавочного типа по п.4, в котором сквозные отверстия находятся в выемках на одной и той же оси.



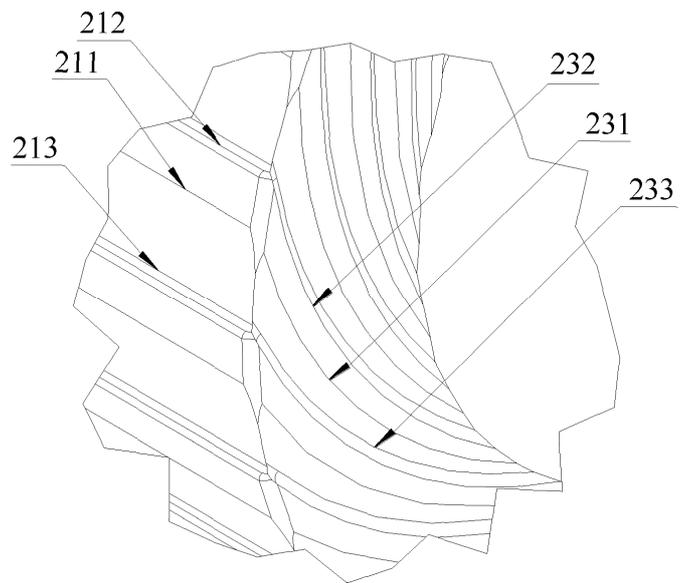
Фиг. 1



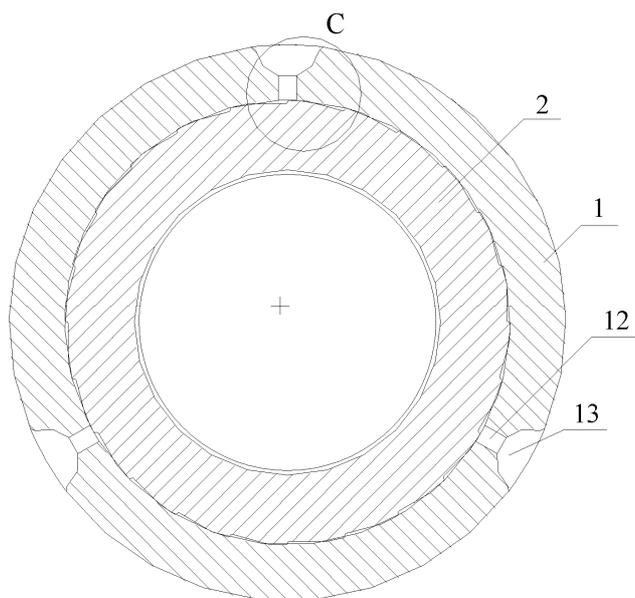
Фиг. 2



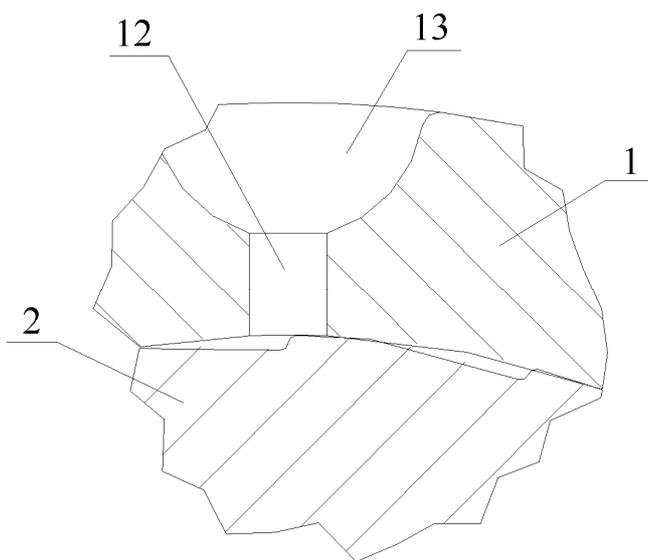
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

