

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202291494** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2022.08.24**

(51) Int. Cl. *F16J 15/44* (2006.01)  
*F01D 25/24* (2006.01)  
*F16J 15/447* (2006.01)  
*F01D 11/02* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2020.11.27**

**(54) КОМПЗИТНАЯ УПЛОТНИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ МАШИНЫ И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЗИТНОЙ УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

(31) **102019000023850**

(72) Изобретатель:  
**Риццо Эмануэле, Темпестини  
Массимилиано (ИТ)**

(32) **2019.12.12**

(33) **ИТ**

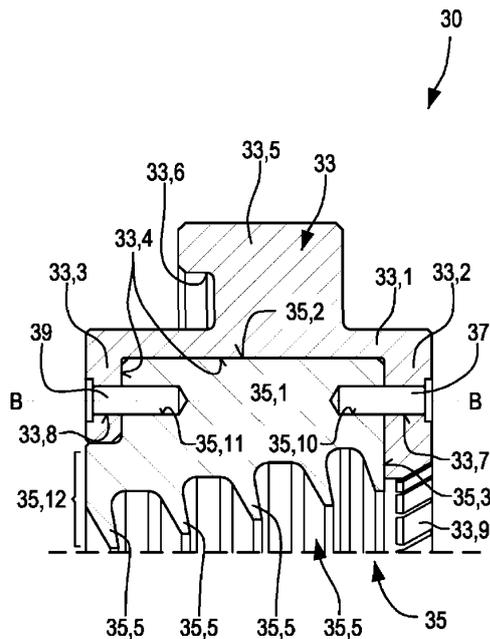
(86) **PCT/EP2020/025545**

(74) Представитель:  
**Нагорных И.М. (RU)**

(87) **WO 2021/115626 2021.06.17**

(71) Заявитель:  
**НУОВО ПИНЬОНЕ ТЕКНОЛОДЖЕ –  
С.Р.Л. (ИТ)**

(57) Композитная уплотнительная структура содержит несущее кольцо (33) и уплотнительный элемент (35), размещенный в кольцевой канавке, образованной между окружной наружной стенкой и двумя боковыми стенками несущего кольца (33). Уплотнительный элемент имеет первую область в контакте типа "поверхность с поверхностью" с кольцевой канавкой и второй уплотнительной областью (35.12), выступающей из кольцевой канавки. Крепежная система соединяет уплотнительный элемент (35) и несущее кольцо (33) друг с другом. Крепежная система содержит множество крепежных штифтов (37), расположенных по окружности вокруг оси несущего кольца. Также описан способ изготовления уплотнительной структуры.



**202291494  
A1**

**202291494  
A1**

КОМПОЗИТНАЯ УПЛОТНИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ МАШИНЫ И СПОСОБ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

**ОПИСАНИЕ**

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

5 [0001] Настоящее описание относится к уплотнительным структурам для уплотнения области уплотнения между неподвижной частью и вращающейся частью машины, в частности турбомашин, такой как центробежный или осевой компрессор, турбина, турбодетандер или т. п. Варианты осуществления, описанные в настоящем документе, конкретно относятся к лабиринтному уплотнению.

10 ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002] Роторные машины, такие как турбомашин, содержат участки машины, в которых присутствуют различные давления текучей среды. Для предотвращения или ограничения утечки текучей среды из области высокого давления в область низкого давления в машине обеспечены уплотнения для отделения двух областей, в которых преобладают различные давления. Типичное  
15 уплотнение ротора расположено между неподвижным компонентом машины, который обычно выполнен за одно целое с корпусом машины и вращающимся валом, который может включать в себя вращающийся цилиндр, такой как балансировочный цилиндр компрессора или насоса. Вращающийся вал проходит через узел уплотнения ротора, который неподвижно установлен на неподвижном компоненте машины и содержит уплотнительные элементы, взаимодействующие с вращающимся  
20 валом для предотвращения или уменьшения утечки текучей среды.

[0003] Типичные уплотнения ротора включают в себя лабиринтные уплотнения, демпферные уплотнения или уплотнения со схемой отверстий, сотообразные уплотнения, карманные демпферные уплотнения, истираемые уплотнения и т. п.

[0004] Некоторые уплотнения ротора включают в себя несущее кольцо, соединенное с  
25 уплотнительным элементом. Несущее кольцо обычно изготовлено из металла, установлено на неподвижной части машины и действует в качестве держателя для уплотнительного элемента, который выполнен в виде вставки, вставленной в кольцевую канавку, образованную в держателе. Уплотнительный элемент обычно изготовлен из приемлемого полимера, такого как термопластичный полимер. Уплотнительные структуры такого типа иногда называют «композитными уплотнениями».

[0005] Уплотнительный элемент выступает радиально внутрь от кольцевой канавки в несущем  
30 кольце и включает в себя уплотнительные элементы, такие как ребра, также называемые зубьями или резцами, лабиринтного уплотнения, которые взаимодействуют с вращающейся частью машины для обеспечения уплотнительного действия. Противоположно уплотнительным элементам, уплотнительный элемент находится в поверхностном контакте с внутренней поверхностью кольцевой  
35 канавки несущего кольца.

**[0006]** Одним из важных аспектов такого типа уплотнения является надежность соединения между несущим кольцом и уплотнительным элементом. Поскольку разность давлений выходит через две противоположные стороны уплотнительной структуры, текущая среда высокого давления со стороны высокого давления склонна к утечке через зазор между несущим кольцом и уплотнительным элементом и может достигать нижней части кольцевой канавки. При этом давление, которое действует радиально внутрь напротив уплотнительного элемента, может привести к деформации уплотнительного элемента и отсоединению от несущего кольца.

**[0007]** Более эффективное механическое соединение между несущим кольцом и уплотнительным элементом в композитной уплотнительной структуре было бы полезным для достижения лучших характеристик уплотнения и более надежных уплотнительных структур.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

**[0008]** В соответствии с одним аспектом описана уплотнительная структура, содержащая несущее кольцо, имеющее кольцевую наружную стенку, первую боковую стенку и вторую боковую стенку. Первая боковая стенка и вторая боковая стенка выступают радиально внутрь от кольцевой наружной стенки к центральной линии, т. е. оси, несущего кольца. Ось или центральная линия несущего кольца совпадают с центральной линией или осью уплотнительной структуры в целом. Несущее кольцо дополнительно содержит кольцевую канавку, образованную между кольцевой наружной стенкой, первой боковой стенкой и второй боковой стенкой. Уплотнительная структура дополнительно содержит уплотнительный элемент, имеющий первую область в контакте типа «поверхность с поверхностью» с кольцевой канавкой и вторую уплотнительную область, выступающую из кольцевой канавки несущего кольца по направлению к центральной линии несущего кольца. Кроме того, крепежная система, образованная в уплотнительной структуре, выполнена с возможностью соединения уплотнительного элемента и несущего кольца друг с другом. В соответствии с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, крепежная система содержит множество крепежных штифтов, расположенных по окружности вокруг оси несущего кольца, проходящей через по меньшей мере одну из первой боковой стенки и второй боковой стенки, и каждое зацепление в соответствующем посадочном месте, образованном в уплотнительном элементе.

**[0009]** Штифты обеспечивают безопасное механическое соединение между несущим кольцом и уплотнительным элементом.

**[0010]** Как понятно в настоящем документе, несущее кольцо обычно представляет собой монолитный компонент кольцевой формы, т. е. компонент, изготовленный из одного элемента, например механически обработанный из одной заготовки.

**[0011]** Как понятно в настоящем документе, уплотнительный элемент обычно представляет собой кольцевой, т. е. кольцеобразный одиночный элемент, т. е. монолитный компонент, например, механически обработанный из трубчатой заготовки.

**[0012]** В вариантах осуществления композитного уплотнения, описанных в настоящем документе,

штифты обеспечивают эффективное соединение между уплотнительным элементом и несущим кольцом таким образом, что радиальные деформации внутри из-за утечек газа под давлением предотвращаются или эффективно снижаются.

5 [0013] В соответствии с дополнительным аспектом описан способ изготовления уплотнительной структуры. Способ включает в себя первый этап вставки уплотнительного элемента в кольцевую канавку несущего кольца. Кольцевая канавка образована между окружной наружной стенкой, первой боковой стенкой и второй боковой стенкой несущего кольца, причем первая боковая стенка и вторая боковая стенка выступают радиально внутрь от окружной наружной стенки по направлению к центральной линии несущего кольца. После вставки уплотнительного элемента в кольцевую канавку несущего кольца уплотнительный элемент механически соединен с несущим кольцом таким образом, что уплотнительный элемент имеет первую область в контакте типа «поверхность с поверхностью» с кольцевой канавкой и второй уплотнительной областью, выступающей из кольцевой канавки несущего кольца по направлению к центральной линии несущего кольца. После этого обращенную внутрь поверхность второй уплотнительной области уплотнительного элемента подвергают механической обработке для создания на нем уплотнительных элементов.

[0014] Дополнительные признаки и варианты осуществления уплотнительной структуры и способа изготовления изложены в прилагаемой формуле изобретения и дополнительно описаны в приведенном ниже описании примеров осуществления.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

20 [0015] Описанные варианты осуществления изобретения и многие сопутствующие ему преимущества можно более полно оценить и понять в ходе изучения следующего подробного описания, рассматриваемого в связи с прилагаемыми чертежами, причем:

на Фиг. 1 проиллюстрирован схематический вид в поперечном сечении центробежного компрессора, содержащего множество уплотнений ротора, которые могут включать в себя соответствующие уплотнительные структуры в соответствии с настоящим описанием;

на Фиг. 2 проиллюстрирована уплотнительная структура в соответствии с настоящим описанием в соответствии с видом в направлении, параллельном оси уплотнительной структуры;

на Фиг. 3 проиллюстрирован увеличенный вид в поперечном сечении одного варианта осуществления в соответствии с линией III-III на Фиг. 2;

30 на Фиг. 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 4F и 4G проиллюстрирована последовательность этапов способа изготовления уплотнительной структуры;

на Фиг. 5 проиллюстрирован увеличенный вид в поперечном сечении в соответствии с линией III-III на Фиг. 2 дополнительного варианта осуществления; и

на Фиг. 6 проиллюстрирована блок-схема, обобщающая способ изготовления в одном варианте осуществления.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0016] В настоящем документе описана новая и полезная уплотнительная структура, в частности для уплотнения ротора. Уплотнительная структура содержит кольцевой держатель, называемый в настоящем документе «несущим кольцом», которое имеет кольцевую канавку, в которой размещена кольцевая вставка, называемая в настоящем документе «уплотнительным элементом». Уплотнительный элемент механически соединен с несущим кольцом посредством множества штифтов, распределенных вокруг оси уплотнительной структуры и предпочтительно проходящих параллельно оси или центральной линии уплотнительной структуры. Как будет объяснено ниже со ссылкой на подробное описание вариантов осуществления, полученная крепежная система предотвращает или ограничивает радиальную деформацию уплотнительного элемента. Конкретный способ крепления уплотнительного элемента к несущему кольцу также обеспечивает новые и полезные способы изготовления уплотнительной структуры, которые могут экономить время и средства, что приводит к получению уплотнительной структуры высокой точности и эффективности.

[0017] Хотя следующее описание сосредоточено на лабиринтных уплотнениях, новые элементы уплотнительной структуры, описанные в настоящем документе, можно применять с преимуществом также в других типах уплотнений ротора, т.е. уплотнениях, выполненных с возможностью совместного действия с вращающимся элементом машины. Например, элементы уплотнительной структуры, конкретно относящиеся к механическому соединению между уплотнительным элементом и несущим кольцом, могут быть также применены в истираемых уплотнениях, сотообразных уплотнениях или других уплотнениях, как упомянуто во вступительной части настоящего описания. Как правило, элементы, описанные в настоящем документе, могут быть применены в комбинированных уплотнительных структурах, содержащих несущее кольцо и кольцевой уплотнительный элемент, соединенный с несущим кольцом и выступающий из него радиально внутрь, с уплотнительной областью, выполненной с возможностью совместного действия с валом или цилиндром.

[0018] Далее со ссылкой на графические материалы, на Фиг. 1 проиллюстрирован схематический вид в разрезе центробежного компрессора 1. Вид в разрезе выполнен вдоль плоскости, содержащей ось А-А вращения ротора компрессора. Секция, показанная на Фиг. 1, иллюстрирует только часть центробежного компрессора, достаточную для целей настоящего описания.

[0019] Центробежный компрессор 1, показанный на Фиг. 1, представлен в настоящем документе в качестве примера осуществления турбомашин, в котором может быть преимущественно применена уплотнительная структура по настоящему описанию. Тем не менее, специалистам в области турбомашин будет понятно, что уплотнительную структуру, описанную в настоящем документе, можно также применять к различным типам турбомашин и в различных положениях турбомашин. Как правило, уплотнительную структуру можно применять в любом уплотнении вокруг вращающегося элемента, такого как ротор, цилиндр или вал, между областью высокого давления и областью низкого давления.

[0020] Центробежный компрессор 1 содержит вал 3 и одну или более крыльчаток 5. На Фиг. 1 проиллюстрированы три крыльчатки 5. Хотя на Фиг. 1 крыльчатки 5 установлены на валу 3 для совместного вращения с ним в так называемой конфигурации горячей посадки, в других вариантах осуществления крыльчатки могут быть выполнены в виде так называемых стопочных крыльчаток, которые расположены в стопке друг над другом в осевом направлении и торсионно соединены друг с другом с помощью анкерной балки и соответствующей муфты с V-образными зубьями или других соединительных элементов.

[0021] В варианте осуществления, показанном на Фиг. 1, между каждой парой соседних крыльчаток 5 расположено дистанционное кольцо 7. Балансировочный цилиндр 9 дополнительно закреплен на валу 3 для вращения вместе с ним. Вал 3, крыльчатки 5, дистанционные кольца 7 и весовой балансировочный цилиндр 9 совместно образуют ротор 11, который установлен для вращения вокруг оси А-А вращения в соответствии со стрелкой f11. Ротор 11 размещен в корпусе (не показан), в котором размещены неподвижные компоненты компрессора 1. Неподвижные компоненты включают в себя диафрагмы 13, определяющие диффузоры 15 и обратные каналы 17 компрессора.

[0022] Каждая крыльчатка содержит лопаточное пространство 5.1 крыльчатки. В качестве иллюстрации, лабиринтное уплотнение 21 лопаточного пространства расположено вокруг каждого лопаточного пространства 5.1 крыльчатки для уменьшения утечек газа со стороны высокого давления ниже по потоку от крыльчатки к стороне низкого давления выше по потоку от крыльчатки. Термины «выше по потоку» и «ниже по потоку» относятся к направлению потока технологического газа через компрессор 1, который схематически представлен стрелками G. Каждое лабиринтное уплотнение 21 установлено на корпусе, механически обработанном в соответствующей диафрагме центробежного компрессора 1.

[0023] Лабиринтные уплотнения 23 вала дополнительно обеспечены между диафрагмами 13 и валом 3, например вокруг дистанционных колец 7. Лабиринтные уплотнения 23 вала установлены в соответствующих корпусах, механически обработанных в диафрагмах 13.

[0024] В варианте осуществления, показанном на Фиг. 1, лабиринтное уплотнение 25 балансировочного цилиндра также расположено вокруг балансировочного цилиндра 9.

[0025] Одно, некоторые или все из лабиринтных уплотнений 21, 23, 25 центробежного компрессора 1 могут быть выполнены в соответствии с настоящим описанием. Ниже в настоящем документе, со ссылкой на Фиг. 2 и Фиг. 3, описан один вариант осуществления типового лабиринтного уплотнения для иллюстрации его новых признаков. Специалисты в области технологии уплотнения будут способны конструировать лабиринтные уплотнения для различных применений и различных частей внутри центробежного компрессора 1 или другой турбомшины, реализующей описанные ниже признаки.

[0026] На Фиг. 2 проиллюстрирована типовая уплотнительная структура 30, которую можно применять в лабиринтном уплотнении 21 лопаточного пространства, в лабиринтном уплотнении 23

вала, в лабиринтном уплотнении 25 балансировочного цилиндра или в более общем случае в любом другом уплотнении ротора внутри турбомашин.

[0027] Лабиринтное уплотнение 30 содержит несущее кольцо 33 и кольцеобразный уплотнительный элемент 35. Ось или центральная линия уплотнительной системы обозначена как А-А и совпадает с осью вращения ротора 11 компрессора, когда уплотнительная структура установлена в турбомашине вокруг ротора 11 компрессора.

[0028] Несущее кольцо 33 может быть изготовлено из металла или металлического сплава.

Материал, применяемый для изготовления несущего кольца 33, может быть выбран в зависимости от характера технологического газа, который будет контактировать с уплотнительной системой 30, от давления на двух сторонах уплотнительной системы, от размера уплотнения и от других конструктивных факторов. Например, по существу в нормальных, сладких и кислых средах с низкой кислотностью можно применять следующие сплавы: алюминиевые сплавы серии 2000, одним из примеров которых является AVIONAL® 14; или алюминиевые сплавы серии 5000, одним из примеров которых является PERALUMAN®, причем AVIONAL и PERALUMAN представляют собой торговые марки, зарегистрированные компанией Constellium Valais SA, Швейцария; или алюминиевые сплавы серии 6000, одним из примеров которых является ANTORODAL®, причем ANTICORODAL представляет собой торговую марку, зарегистрированную компанией Novelis Switzerland SA, Швейцария, и мартенситные нержавеющие стали. В нормальной среде можно применять углеродистую сталь и низколегированную сталь. В кислотных средах можно применять аустенитные, супераустенитные, дуплексные и супердуплексные нержавеющие стали, а также сплавы на основе никеля. В качестве хорошей конфигурационной практики несущее кольцо должно быть изготовлено из того же материала, что и диафрагма.

[0029] Уплотнительный элемент 35 может быть выполнен в основном из термопластичного полимера. Например, уплотнительный элемент 35 может быть изготовлен из композитного полимерного материала, имеющего полимерную матрицу, заполненную армирующими волокнами или частицами, такими как углеродные волокна, стекловолокна и т. п. В качестве вариантов можно применять такие полимеры, как PEK (полиэфиркетон), PEEK (полиэфир эфиркетон), PAI (полиамидимиды), PEI (полиэтиленимин) и PFA (перфторалкоксиалканы). Армирующие волокна могут быть длинными или короткими (<30 мкм) в зависимости от требуемых механических характеристик или от доступной технологии.

[0030] С дальнейшей ссылкой на Фиг. 2, на Фиг. 3 показан увеличенный вид в поперечном сечении несущего кольца 33 и уплотнительного элемента 35.

[0031] Несущее кольцо 33 содержит окружную наружную стенку 33.1, первую боковую стенку 33.2 и вторую боковую стенку 33.3. Окружная наружная стенка 33.1, первая боковая стенка 33.2 и вторая боковая стенка 33.3 образуют между ними кольцевую канавку 33.4, в которой размещен уплотнительный элемент 35.

**[0032]** В варианте осуществления, показанном на Фиг. 2 и Фиг. 3, окружная наружная стенка 33.1 имеет в широком смысле цилиндрическую форму. Внутренняя поверхность окружной наружной стенки 33.1 образует нижнюю часть кольцевой канавки 33.4. Наружная поверхность окружной наружной стенки 33.1 образует крепежный элемент 33.5 для соединения с кольцевым посадочным местом, образованным в неподвижном элементе турбомашины, например диафрагме компрессора, в которой установлена уплотнительная структура 30. В варианте осуществления, показанном на Фиг. 2 и Фиг. 3, крепежный элемент содержит кольцевой выступ, проходящий от наружной периферической поверхности окружной наружной стенки 33.1. Выступ имеет форму поперечного сечения, образующую внутреннюю выточку 33.6 для механического соединения с кольцевым посадочным местом в турбомашине.

**[0033]** Каждая из боковых стенок 33.2 и 33.3 содержит внутреннюю поверхность, которая может быть по существу плоской и перпендикулярной центральной линии или оси А-А уплотнительной структуры. Внутренние поверхности боковых стенок 33.2 и 33.3 проходят радиально внутрь от внутренней поверхности окружной наружной стенки 33.1 и образуют боковые поверхности кольцевой канавки 33.4. Каждая боковая стенка 33.2 и 33.3 дополнительно содержит соответствующую наружную поверхность, которая может быть по существу параллельной соответствующей внутренней поверхности и может быть по существу плоской. В некоторых вариантах осуществления на одной или обеих наружных поверхностях боковых стенок 33.2 и 33.3 могут быть обеспечены воронкогасители 33.9.

**[0034]** Первая боковая стенка 33.2 изготовлена таким образом, чтобы иметь первый набор сквозных отверстий 33.7, проходящих от наружной поверхности к внутренней поверхности первой боковой стенки 33.2. Аналогично, вторая боковая стенка 33.3 имеет второй набор сквозных отверстий 33.8, проходящих от наружной поверхности к внутренней поверхности второй боковой стенки 33.3.

**[0035]** Уплотнительный элемент 35 содержит основную часть 35.1 с наружной цилиндрической поверхностью 35.2 в поверхностном контакте с нижней частью кольцевой канавки 33.4. Основная часть 35.1 дополнительно содержит боковые поверхности 35.3 и 35.4 в поверхностном контакте с внутренними поверхностями первой боковой стенки 33.2 и второй боковой стенки 33.3 соответственно. Таким образом, основная часть 35.1 содержит первую область уплотнительного элемента в контакте типа «поверхность с поверхностью» с кольцевой канавкой 33.4, образованной в несущем кольце 33.

**[0036]** Более того, основная часть 35.1 содержит вторую область, а именно уплотнительную область, расположенную радиально внутрь первой области и обозначенную ссылочной позицией 35.12. Вторая уплотнительная область 35.12 имеет множество уплотнительных элементов, выполненных с возможностью совместного действия с вращающейся частью ротора. В варианте осуществления, показанном на Фиг. 2 и Фиг. 3, уплотнительная структура 30 имеет лабиринтное уплотнение, а уплотнительные элементы содержат кольцевые зубья, лезвия или губы 35.5, которые выступают радиально внутрь от несущего кольца 33 к центральной линии или оси А-А уплотнительной структуры 30.

[0037] Крепежная система механически соединяет несущее кольцо 33 и уплотнительный элемент 35 друг с другом. В варианте осуществления, показанном на Фиг. 3, крепежная система содержит первый набор крепежных штифтов 37 и второй набор крепежных штифтов 39. Каждый крепежный штифт 37 из первого набора крепежных штифтов проходит в сквозном отверстии 33.7 и имеет ориентированный внутрь конец, выступающий в посадочном месте 35.10, образованном на боковой поверхности 35.3 уплотнительного элемента 35, который находится в поверхностном контакте с боковой стенкой 33.2. Каждый крепежный штифт 39 из второго набора крепежных штифтов проходит в сквозном отверстии 33.8, которое проходит через вторую боковую стенку 33.3 и имеет ориентированный внутрь конец, расположенный в посадочном месте 35.11, образованном на боковой поверхности 35.4 уплотнительного элемента 35, который находится в поверхностном контакте с боковой стенкой 33.3.

[0038] Посадочные места 35.10 и 35.11 могут иметь форму глухих отверстий, просверленных в уплотнительном элементе 35.

[0039] В некоторых вариантах осуществления отверстия 33.7 и 33.8, а также посадочные места 35.10 и 35.11 ориентированы параллельно оси или центральной линии А-А уплотнительной системы 30.

[0040] В некоторых вариантах осуществления каждое отверстие 33.7 и соответствующее посадочное место 35.10 коллинеарны соответствующему отверстию 33.8 и соответствующему посадочному месту 35.11 таким образом, что пары крепежных штифтов 37, 39 двух наборов крепежных штифтов являются коллинеарными друг другу.

[0041] Если посадочные места 35.10, 35.11 коллинеарны, каждое посадочное место может иметь длину, которая составляет менее половины толщины уплотнительного элемента 35, т. е. менее половины размера уплотнительного элемента 35 в направлении центральной линии, измеряемой между противоположными боковыми поверхностями уплотнительного элемента 35, где просверлены посадочные места 35.10 и 35.11. На Фиг. 3 такая толщина указана как «Т». Таким образом, коллинеарные посадочные места остаются отдельными друг от друга в форме двух противоположных глухих отверстий.

[0042] Отверстия 33.7 могут быть равноудалены друг от друга. Аналогично, отверстия 33.8 могут быть равноудалены друг от друга. Например, отверстия могут быть расположены в соответствии с постоянным угловым шагом  $\alpha$  (см. Фиг. 2). В некоторых вариантах осуществления угловой шаг  $\alpha$ , который может составлять от около  $5^\circ$  до около  $45^\circ$ , предпочтительно от около  $10^\circ$  до около  $40^\circ$ , например от около  $18^\circ$  до около  $36^\circ$ . В варианте осуществления, показанном на Фиг. 2, угловой шаг  $\alpha$  составляет  $20^\circ$ .

[0043] Крепежные штифты 37, 39 могут быть зафиксированы в отверстиях 33.7, 33.8 и в посадочных местах 35.10, 35.11 любым приемлемым способом, например путем приклеивания, пайки, сварки или т. п. Приклеивание может быть особенно предпочтительным, поскольку не применяется

тепло, что может привести к повреждению уплотнительного элемента 35.

**[0044]** Крепежные штифты 37, 39 обеспечивают надежное соединение между несущим кольцом 33 и уплотнительным элементом 35. Крепежные штифты 37, 39 обеспечивают эффективную силу реакции, противоположную действующему радиально внутрь давлению, которое может быть создано 5 текучей средой под давлением, проникающей в зазор между нижней частью кольцевой канавки 33.4 и наружной цилиндрической поверхностью 35.2 уплотнительного элемента 35.

**[0045]** Вышеописанная уплотнительная структура 30 может быть изготовлена удобным способом в соответствии со способом, описанным ниже, причем сделана ссылка на последовательность на Фиг. 4А–4G.

10 **[0046]** Несущее кольцо 33 может быть изготовлено обычными методами, например путем точения, размалывания или любого другого процесса удаления стружки, начиная с заготовки, например, в форме трубы, до достижения ее окончательной чистой формы, за исключением сквозных отверстий 33.7, 33.8 (см. Фиг. 4А). Сквозные отверстия 33.7, 33.8 изготовлены на следующем этапе, как описано ниже.

15 **[0047]** Уплотнительный элемент 35 может быть изготовлен, начиная с заготовки 35В, показанной на виде в поперечном сечении на Фиг. 4В. Заготовка 35В может иметь кольцевую форму, поперечное сечение которой имеет простую квадратную или прямоугольную форму. Заготовка 35В может быть изготовлена как по традиционным технологиям, так и по технологиям изготовления с помощью 3D-печати.

20 **[0048]** Затем заготовку 35В частично механически обрабатывают, например путем точения или аналогичной процедуры удаления стружки, для создания наружных поверхностей 35.2, 35.3, 35.4 уплотнительного элемента 35, т. е. тех поверхностей, которые предназначены для поверхностного контакта с кольцевой канавкой 33.4 несущего кольца 33. См. Фиг. 4С. Обращенная внутрь 25 поверхность, на которой обеспечены уплотнительные элементы 35.5, будет механически обработана на следующем этапе, который будет описан ниже.

**[0049]** Затем частично механически обработанный уплотнительный элемент 35 вводят в кольцевую канавку 33.4 несущего кольца 33, как показано на Фиг. 4D.

**[0050]** На следующем этапе изготовления сквозные отверстия 33.7 и 33.8 просверливают через боковые стенки 33.2 и 33.3. Сверление продолжается с механической обработкой посадочных мест 30 35.10 и 35.11 в уплотнительном элементе 35.

**[0051]** После того как отверстия 33.7, 33.8 и посадочные места 35.10, 35.11 просверлены, крепежные штифты 37, 39 вводят и фиксируют, например, путем приклеивания (см. Фиг. 4F).

**[0052]** После того как частично механически обработанный уплотнительный элемент 35 соединен с несущим кольцом 33, вторая уплотнительная область 35.12 уплотнительного элемента 35 может

быть механически обработана путем точения, например, для достижения конечной формы, включая зубья 35.5 или другие уплотнительные элементы (см. Фиг. 4G).

5 [0053] Описанный до сих пор процесс обеспечивает очень точную механическую обработку и уменьшает количество необходимого пластикового материала. При изготовлении избегают деформации пластиковой заготовки. Можно отказаться от отжига или другой термической обработки уплотнительного элемента 35 для снятия термически вызванных напряжений.

10 [0054] Модифицированный вариант осуществления уплотнительной структуры 30 проиллюстрирован на Фиг. 5. Одинаковые ссылочные позиции обозначают те же самые или эквивалентные детали, показанные на Фиг. 2 и Фиг. 3 и описанные выше. Основное различие между вариантом осуществления, показанным на Фиг. 2, Фиг. 3 и вариантом осуществления, показанным на Фиг. 5, относится к крепежной системе, которая механически соединяет уплотнительный элемент 35 с несущим кольцом 33. На Фиг. 5 проиллюстрирован один набор крепежных штифтов 38. Каждый штифт 38 проходит через обе боковые стенки 33.2, 33.3, а также через посадочное место 35.13, проходящее по всей толщине (т. е. размер в осевом направлении) уплотнительного элемента 35 от боковой поверхности 35.3 к боковой поверхности 35.4.

20 [0055] Чтобы предотвратить выталкивание крепежных штифтов 38 из уплотнительной структуры 30 за счет разницы давления между областью высокого давления и областью низкого давления, между которыми размещают уплотнительную систему 30, крепежные штифты 38 могут быть обеспечены кольцевым ребром 38.1, примыкающим к стороне уплотнительной структуры 30, обращенной к области высокого давления, или любым другим элементом, выполненным с возможностью удерживания крепежных штифтов 38 в положении против силы, возникающей в результате разницы давления во всей уплотнительной структуре 30.

25 [0056] В некоторых вариантах осуществления одно из отверстий 33.7, 33.8 может быть глухим, т. е. ограниченным только участком толщины соответствующей боковой стенки, например не выходить на поверхность на стороне несущего кольца 33, обращенной к области низкого давления машины, на которой установлена уплотнительная структура 30. Таким образом, крепежные штифты 38, введенные в глухие отверстия со стороны высокого давления, будут примыкать к нижней части глухих отверстий и будут удерживаться напротив силы, возникающей в результате разницы давления во всей уплотнительной структуре 30.

30 [0057] Во всех вариантах осуществления, описанных выше, уплотнительный элемент 35 образован одним цельным кольцевым элементом. Хотя это особенно преимущественно с точки зрения точности изготовления и облегчения сборки, не исключается, что уплотнительный элемент 35 образован отдельными кольцевыми участками, которые вводят в кольцевую канавку 33.4 несущего кольца 33. Затем несколько кольцевых участков могут быть соединены друг с другом путем склеивания или любым другим приемлемым способом.

[0058] На Фиг. 6 обобщенно приведены основные этапы способов изготовления в соответствии с

настоящим описанием.

[0059] Хотя изобретение описано с точки зрения различных конкретных вариантов осуществления, специалистам в данной области будет очевидно, что возможны многие модификации, изменения и исключения без отступления от сущности и объема формулы изобретения. Кроме того, если не  
5 указано иное, порядок или последовательность любых этапов процесса или способа можно варьировать или переупорядочивать в соответствии с альтернативными вариантами осуществления.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Композитная уплотнительная структура, выполненная с возможностью установки в турбомашине, причем композитная уплотнительная структура содержит:

несущее кольцо, имеющее: окружную наружную стенку с внутренней поверхностью и наружной поверхностью, первую боковую стенку и вторую боковую стенку, причем первая боковая стенка и вторая боковая стенка выступают радиально внутрь от окружной наружной стенки к оси несущего кольца; причем между окружной наружной стенкой, первой боковой стенкой и второй боковой стенкой образована кольцевая канавка;

уплотнительный элемент, имеющий первую область в контакте типа «поверхность с поверхностью» с кольцевой канавкой и вторую уплотнительную область, выступающую из кольцевой канавки несущего кольца к оси несущего кольца и обеспеченную уплотнительными элементами; и

крепежную систему, соединяющую уплотнительный элемент и несущее кольцо друг с другом с образованием указанной композитной уплотнительной структуры; причем крепежная система содержит множество крепежных штифтов, расположенных по окружности вокруг оси несущего кольца; причем каждый крепежный штифт из множества крепежных штифтов проходит через по меньшей мере одну из первой боковой стенки и второй боковой стенки; и при этом каждый крепежный штифт из множества крепежных штифтов находится в зацеплении в соответствующем посадочном месте, образованном в уплотнительном элементе.

2. Уплотнительная структура по п. 1, в которой крепежные штифты параллельны оси несущего кольца.

3. Уплотнительная структура по п. 1 или 2, в которой уплотнительная область представляет собой уплотнительную область лабиринтного типа; и при этом уплотнительная область содержит множество зубьев, выступающих из радиальной внутренней поверхности уплотнительной области к оси несущего кольца.

4. Уплотнительная структура по п. 1, или 2, или 3, в которой несущее кольцо изготовлено из первого материала, а уплотнительный элемент изготовлен из второго материала, отличного от первого материала; причем уплотнительный элемент изготовлен из полимера, в частности термопластичного полимера или композитного полимерного материала.

5. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой уплотнительный элемент образован одним кольцеобразным элементом.

6. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой несущее кольцо выполнено из одного из металла и металлического сплава.

7. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой множество крепежных штифтов содержат: первый набор крепежных штифтов, проходящих через отверстия через первую боковую стенку и находящихся в зацеплении с первым набором посадочных мест уплотнительного элемента; и второй набор крепежных штифтов, проходящих через

отверстия через вторую боковую стенку и находящихся в зацеплении со вторым набором посадочных мест уплотнительного элемента; и при этом посадочные места имеют форму глухих отверстий в уплотнительном элементе.

5 8. Уплотнительная структура по п. 7, в которой каждый крепежный штифт из первого набора является коллинеарным с соответствующим крепежным штифтом из второго набора.

9. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой внутренняя поверхность образует нижнюю часть кольцевой канавки, и при этом уплотнительный элемент содержит основную часть с наружной цилиндрической поверхностью в поверхностном контакте с нижней частью кольцевой канавки.

10 10. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой крепежные штифты разнесены на угловом расстоянии от около  $18^\circ$  до около  $36^\circ$ .

11. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой окружная наружная стенка несущего кольца содержит крепежный элемент, выполненный с возможностью крепления уплотнительной структуры в кольцевом посадочном месте машины, в частности турбомашины.

12. Уплотнительная структура по п. 11, в которой крепежный элемент содержит кольцевой выступ, проходящий от наружной периферической поверхности окружной наружной стенки; причем кольцевой выступ предпочтительно имеет форму поперечного сечения, образующую внутренние выточки для механического соединения с кольцевым посадочным местом машины.

20 13. Уплотнительная структура по одному или более из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере одна из первой боковой стенки и второй боковой стенки содержит воронкогасители, образованные на ее наружной поверхности.

25 14. Машина, в частности турбомашина, содержащая: корпус; вал, выполненный с возможностью вращения в корпусе; по меньшей мере одну уплотнительную структуру по одному или более из предшествующих пунктов, выполненную с возможностью обеспечения уплотнительного действия на вращающемся валу.

15. Способ изготовления уплотнительной структуры, при этом способ включает в себя этапы, на которых:

30 вводят уплотнительный элемент в кольцевую канавку несущего кольца, причем кольцевая канавка образована между окружной наружной стенкой, первой боковой стенкой и второй боковой стенкой несущего кольца, при этом первая боковая стенка и вторая боковая стенка выступают радиально внутрь от окружной наружной стенки по направлению к оси несущего кольца;

35 механически соединяют уплотнительный элемент с несущим кольцом таким образом, что уплотнительный элемент имеет первую область в контакте типа «поверхность с поверхностью» с кольцевой канавкой и вторую уплотнительную область, выступающую из кольцевой канавки

несущего кольца по направлению к оси несущего кольца;

механически обрабатывают обращенную внутрь поверхность второй уплотнительной области уплотнительного элемента для создания на нем уплотнительных элементов.

5 16. Способ по п. 15, в котором этап механического соединения уплотнительного элемента с несущим кольцом включает этап введения множества крепежных штифтов через соответствующее множество отверстий, проходящих через по меньшей мере одну из первой боковой стенки и второй боковой стенки, и зацепление каждого крепежного штифта в соответствующем посадочном месте, образованном в уплотнительном элементе.

10 17. Способ по п. 16, в котором этап введения множества крепежных штифтов через соответствующее множество отверстий и зацепление каждого крепежного штифта в соответствующем посадочном месте включает в себя этапы:

введения первого набора крепежных штифтов через первый набор отверстий, проходящих через первую боковую стенку, и зацепление крепежных штифтов из первого набора с первым набором посадочных мест, образованных на первой стороне уплотнительного элемента;

15 введения второго набора крепежных штифтов через второй набор отверстий, проходящих через вторую боковую стенку, и зацепление крепежных штифтов из второго набора со вторым набором посадочных мест, образованных на второй стороне уплотнительного элемента.

20 18. Способ по п. 17, в котором этап механического соединения уплотнительного элемента с несущим кольцом дополнительно включает следующие этапы после вставки уплотнительного элемента в кольцевую канавку несущего кольца:

механическую обработку первого набора отверстий через первую боковую стенку и прохождение каждого отверстия из первого набора отверстий с образованием первого набора посадочных мест, причем каждое посадочное место является коллинеарным с соответствующим отверстием из первого набора отверстий;

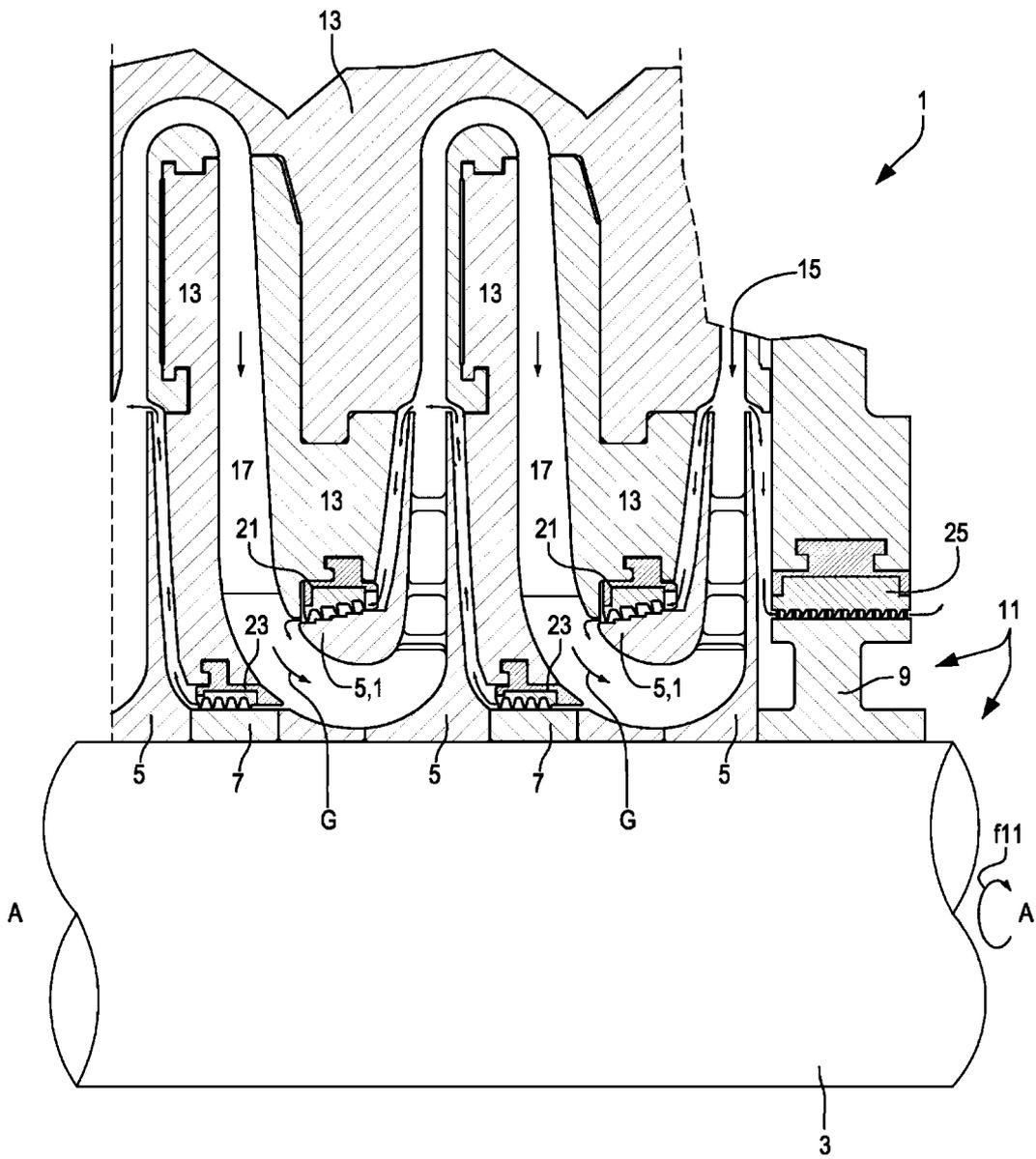
25 механическую обработку второго набора отверстий через вторую боковую стенку и прохождение каждого отверстия из второго набора отверстий с образованием второго набора посадочных мест, причем каждое посадочное место является коллинеарным с соответствующим отверстием из второго набора отверстий.

30 19. Способ по одному или более из пп. 15–18, в котором этап механической обработки обращенной внутрь поверхности второй уплотнительной области уплотнительного элемента включает этап создания множества уплотнительных зубьев, образующих лабиринтное уплотнение.

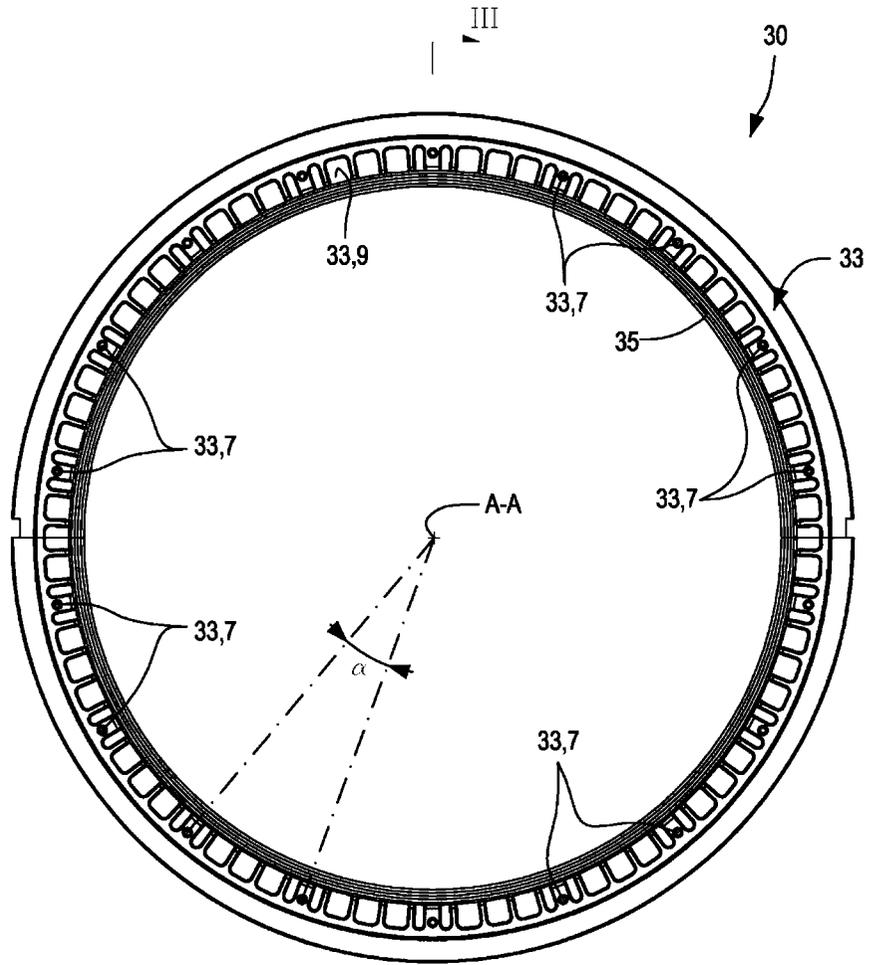
35 20. Способ по одному или более из пп. 15–19, дополнительно включающий этап механической обработки кольцевой заготовки с созданием в ней кольцевой канавки между окружной наружной стенкой, первой боковой стенкой и второй боковой стенкой; и дополнительной механической обработки множества сквозных отверстий в по меньшей мере одной из первой боковой стенки и второй боковой стенки.

21. Способ по п. 20, в котором этап механической обработки кольцевой заготовки дополнительно включает этап образования крепежного элемента, выступающего радиально наружу от наружной поверхности окружной наружной стенки.

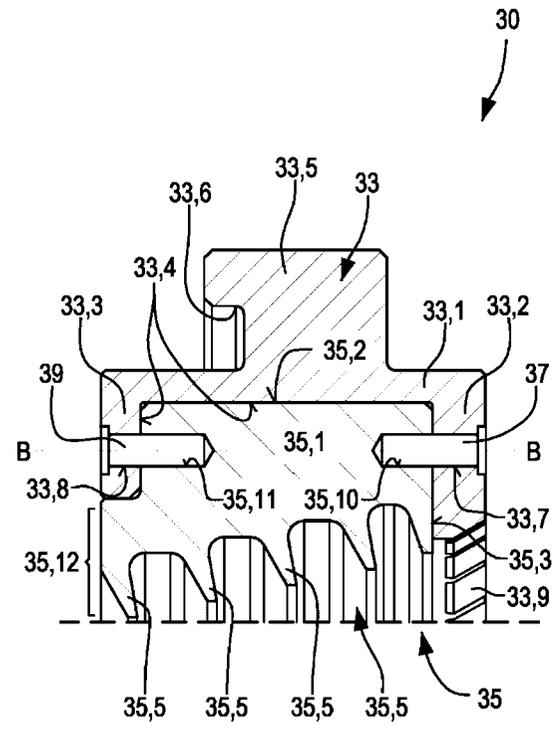
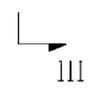
5 22. Способ по одному или более из пп. 15–21, в котором несущее кольцо изготовлено из металла или металлического сплава, а уплотнительный элемент изготовлен из полимера, в частности термопластичного полимера или композитного полимерного материала.



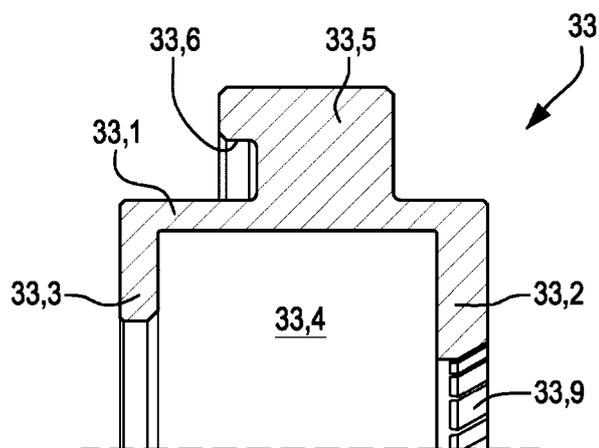
Фиг. 1



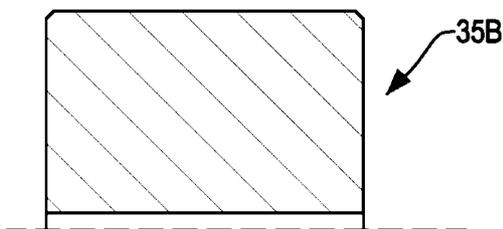
Фиг. 2



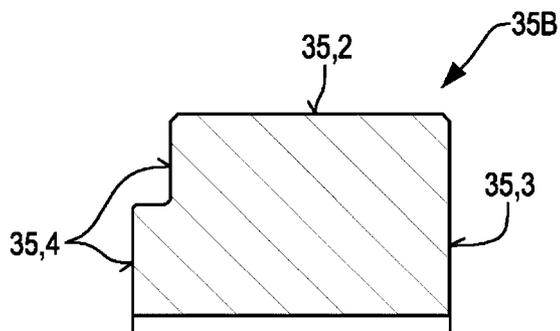
Фиг. 3



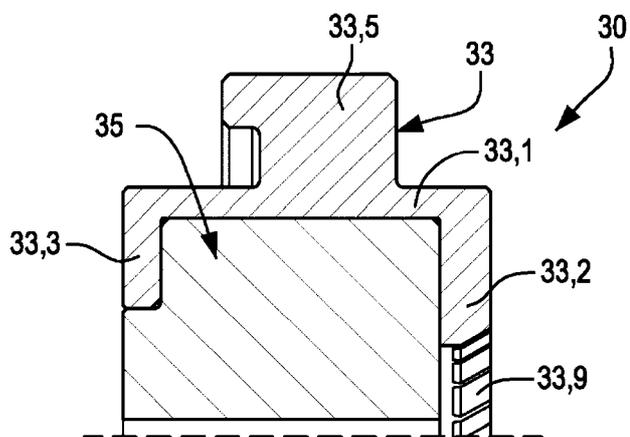
Фиг. 4А



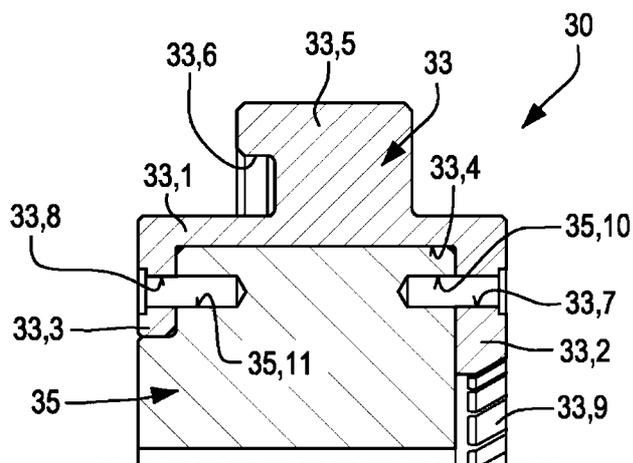
Фиг. 4В



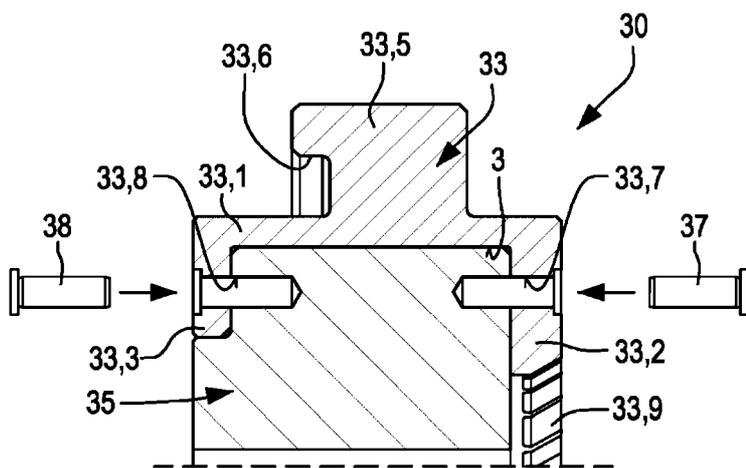
Фиг. 4С



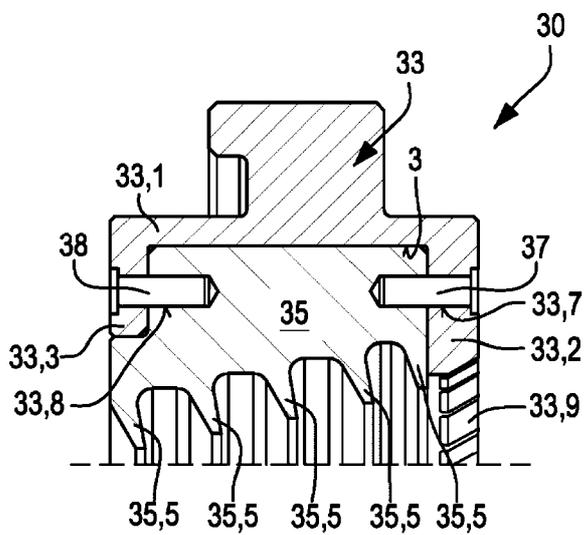
Фиг. 4D



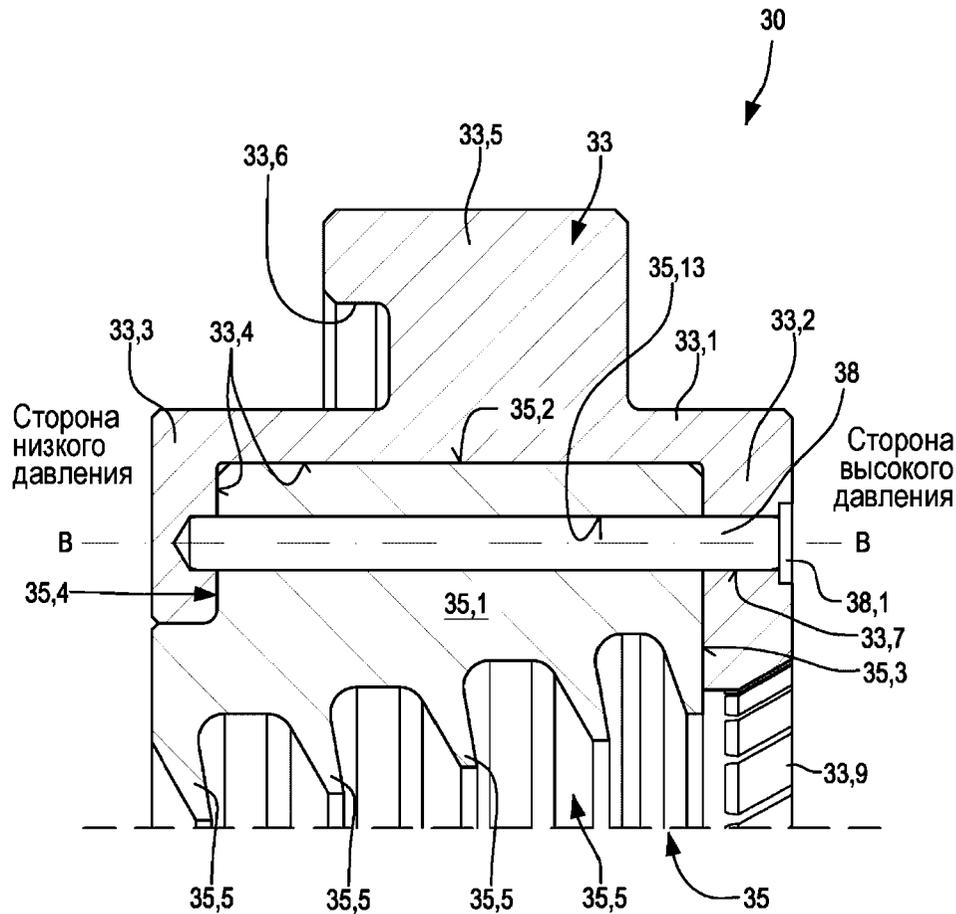
Фиг. 4Е



Фиг. 4F



Фиг. 4G



Фиг. 5



Фиг. 6