

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202392944** (13) **A1**

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

(43) Дата публикации заявки
2024.01.24

(51) Int. Cl. **D01H 7/56** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.05.15

(54) **УСТРОЙСТВО И СПОСОБ НАМАТЫВАНИЯ И СКРУЧИВАНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В КОЛЬЦЕПРЯДИЛЬНЫХ ИЛИ КОЛЬЦЕКРУТИЛЬНЫХ МАШИНАХ**

(31) **21000137.6**

(72) Изобретатель:

(32) **2021.05.15**

**Верфель Франк, Флэгель-Делор Ута
(DE)**

(33) **EP**

(86) **PCT/EP2022/063112**

(74) Представитель:

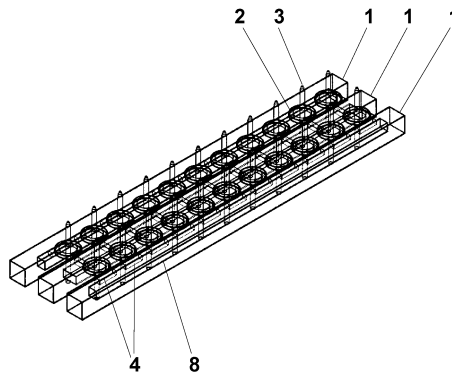
(87) **WO 2022/243208 2022.11.24**

Бавлакова А.В. (KZ)

(71) Заявитель:

**САНКО ТЕКСТИЛ ИСЛЕТМЕЛЕРИ
САН. ТИК. А.С. (TR)**

(57) Изобретение относится к устройству и способу, который может применяться указанным устройством, обеспечивающим, в частности, наматывание и скручивание нитей в кольцепрядильных или кольцекрутильных машинах. В представленном решении используются высокотемпературные сверхпроводящие магнитные подшипники для предотвращения воспламенения нити ввиду высоких скоростей вращения роторов на постоянных магнитах, размещенных коаксиально на веретенах. Отталкиваясь от уровня техники, задача изобретения заключается в представлении устройства и способа наматывания и скручивания волокнистого материала в кольцепрядильных или кольцекрутильных машинах, которые могли бы обеспечить существенное повышение рабочей скорости этих машин, достижение повышенной производительности во время кольцевого прядения и снижение издержек в части времени и материала, необходимых для сборки и обслуживания устройства. Эта задача решается тем, что по меньшей мере два высокотемпературных сверхпроводящих статора вместе с термически соединенными устройствами для их охлаждения расположены бесконтактно и параллельно друг другу вдоль ряда веретена, а роторы, вырабатывающие магнитное поле, ориентированные коаксиально относительно веретена, введены магнитным левитирующим образом в магнитное поле непрерывного промежуточного пространства между статорами, которые в каждом случае находятся рядом друг с другом.



A1

202392944

202392944

A1

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ НАМАТЫВАНИЯ И СКРУЧИВАНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В КОЛЬЦЕПРЯДИЛЬНЫХ ИЛИ КОЛЬЦЕКРУТИЛЬНЫХ МАШИНАХ

Изобретение относится к устройству и способу, который может осуществляться указанным устройством, которые обеспечивают, в частности, наматывание и скручивание нитей в кольцепрядильных или кольцекрутильных машинах. В представленном решении используются высокотемпературные сверхпроводящие магнитные подшипники для предотвращения воспламенения нити ввиду высоких скоростей вращения роторов на постоянных магнитах, размещенных коаксиально на веретенах.

Технология кольцевого прядения является наиболее старой формой прядения волокон, которая применяется по сей день. Однако с точки зрения высокого качества и гибкости нити, метод кольцевого прядения является технологией, доминирующей в сфере производства нитей. В глобальном масштабе, применение метода кольцевого прядения связано с рядом преимуществ, которые с трудом могут быть заменены другими технологиями. Значительными преимуществами являются:

- (i) производство тонковолокнистых и высокопрочных нитей;
- (ii) возможность универсального применения к широкому разнообразию нитей и к очень специфическим нитям;
- (iii) кольцевое прядение является гибким в части количества, качества нити и равномерности.

Кольцевое прядение может обеспечивать наиболее широкий диапазон толщины нитей при наивысшей прочности и качестве. В отличие от этого, кольцевое прядение является более медленным по сравнению с другими современными прядильными системами, такими как пневмомеханическое, фрикционное, фильерное или вихревое прядение, и требует больше этапов обработки. Производственные ограничения и производительность определяются системой ротора с кольцами, которая при повышенных скоростях вызывает механическое трение в связи с нагреванием ротора или направляющего устройства. Это приводит к воспламенению, прогоранию и разрыву нити.

Вскоре после того, как в 1986/87 годах был изобретен высокотемпературный сверхпроводник (ВТСП), была предложена комбинация постоянного магнита (ПМ) с новыми сверхпроводниками, продемонстрировавшая левитацию и вращение практически без трения. Затем, в 2001 году в литературе была описана технология СМП для применения в центрифугах [4]. Было возможно продемонстрировать, что новый тип магнитного подшипника позволяет получить чрезвычайно высокие значения оборотов в минуту (об/мин) – более 105. Преимущества и варианты применения магнитных подшипников на ВТСП полезны во многих сферах применения, в частности, в высокотехнологических решениях.

Функционирование практически без трения обеспечивает высокие скорости без смазывания, отсутствие износа и образования частиц, даже в сложных условиях окружающей среды, таких как тепло, холод, пар, вакуум и воздействие агрессивных химических веществ.

В то же время, это изучали для понимания динамики ротора с саморегулирующейся компенсацией дисбаланса, преодолевая критические скорости при функционировании на высоких скоростях, повышая скорости ротора, а также одновременно сдвигая сверхпроводниковые магнитные подшипники (СМП) в направлении диапазона нагрузки в тоннах, как происходит в случае применения в маховиковых накопителях энергии.

Первые эксперименты и случаи применения СМП в технологии кольцевого прядения начались в 2010 году ([3], [5]). Позднее, группа из Дрездена Hussain, de Haas and Schultz ([7] - [18]) подробно изучила существенные преимущества замены традиционных методов кольцевого прядения на применение вращающегося СМП. В этом случае конструкция СМП представляла собой конструкцию ПМ-кольцо-ВТСП-кольцо, которая была интегрирована в вакуумный криостат из нержавеющей стали. Эти эксперименты подробно описаны и проанализированы в литературе [8] - [18]. Недостатком являются значительные издержки на кольцевую геометрию сверхпроводника.

Наматывающие и кольцепрядильные устройства в кольцепрядильной или кольцекрутильной машине известны из WO 2012/100964 A1 и WO 2017/178196 A1. Трение между кольцом и ротором в этих устройствах устраняется за счет магнитной левитации, в результате которой действие сил трения снижается. Применяется кольцевой статор, выполненный из сверхпроводящего материала и имеющий соответствующее устройство для охлаждения статора. Помимо кольцевого статора применяется кольцевой ротор на постоянном магните, который расположен с возможностью вращения относительно статора и коаксиально вокруг веретена вместе с направляющим элементом наподобие ушка. В этом случае между статором и ротором образуется кольцевой осевой зазор. Когда сверхпроводящий материал статора охлаждается до температуры, ниже температуры перехода, магнитный поток ротора входит в охлажденный статор и попадает в магнитную ловушку. В результате этого вхождения, ротор является по существу устойчивым над статором или внутри него. Нить направляется вокруг ротора снаружи через осевой зазор между статором и ротором, и наматывается на катушку. Статор и ротор имеют конкретные закругленные формы для того, чтобы нить не зацепилась за какие-либо края, что предотвращает круговой ход нити в пределах зазора. Перед намагничиванием и охлаждением ВТСП-статора, механической опорой обеспечивается оптимальное рабочее положение. Бесконтактная опора вращающегося ротора исключает наличие традиционной кольцевой/роторной системы, вырабатывающей тепло, как компонента, ограничивающего производительность. В качестве преимущества, весь ротор вместе с направляющим элементом затем переходит в состояние быстрого вращения, что, по существу, не имеет трения, не говоря уже о незначительном магнитном трении, а следовательно, обеспечивает значительно более высокие скорости вращения веретена.

Однако ротор, выполненный в виде магнитного кольца, имеет значительный собственный вес, который также должен ускоряться при запуске веретена. Кроме того, свободно левитирующее магнитное кольцо не может быть заключено в оболочку, а следовательно, ротор, работающий на высоких скоростях вращения от приблизительно 20000 до 30000 оборотов в минуту (об/мин), создает риск для операторов на объекте. Наконец, направляющий элемент на магнитном кольцевом роторе создает дисбаланс, что приводит к еще большей проблеме в части вибраций ввиду увеличения скорости веретена.

Таким образом, задача изобретения заключается в представлении устройства и способа наматывания и скручивания волокнистого материала в кольцепрядильных или кольцекрутильных машинах, которые могли бы обеспечить существенное повышение рабочей скорости этих машин, достижение повышенной производительности во время кольцевого прядения и снижение издержек в части времени и материала, необходимых для сборки и обслуживания устройства.

Данная задача решается благодаря описанным признакам устройства по пункту 1 формулы изобретения. Предпочтительные варианты реализации устройства охарактеризованы признаками пунктов 2-12 формулы изобретения. Представленный способ описан признаками пункта 13 формулы изобретения. Предпочтительный вариант реализации способа заявлен в пункте 14 формулы изобретения.

В решении по изобретению предложен сверхпроводящий магнитный подшипник (СМП), содержащий постоянное магнитное (ПМ) кольцо в качестве ротора, которое левитирует бесконтактным и устойчивым образом над сверхпроводником в качестве охлажденного статора. В этом случае соответствующий ротор расположен коаксиально относительно соответствующего веретена, а нить, подлежащая наматыванию, вращается в зазоре между ротором и статором. Эффективное и регулируемое в широком диапазоне конструктивное исполнение устройства обеспечивается тем, что по меньшей мере два высокотемпературных сверхпроводящих статора вместе с термически соединенными устройствами для их охлаждения расположены бесконтактно и параллельно друг другу вдоль ряда веретен, а роторы, вырабатывающие магнитное поле, ориентированные коаксиально относительно веретена, введены магнитным левитирующим образом в магнитное поле в непрерывном промежуточном пространстве между статорами, которые в каждом случае находятся рядом друг с другом. Дополнительное улучшение стабилизации положения магнитного подшипника достигается, если роторы, вырабатывающие магнитное поле, снабжены ферромагнитными коллекторами магнитного потока, предназначенными для увеличения напряженности поля и направления магнитного поля в сторону высокотемпературного сверхпроводника. В качестве преимущества, снижение

издержек на материалы достигается, если каждый высокотемпературный сверхпроводящий статор состоит из по меньшей мере двух объемных ВТСП-элементов, которые выполнены с возможностью отделения друг от друга частями вдоль продольного направления статоров и которые связаны с соответствующими роторами, вырабатывающими магнитное поле.

Для обеспечения преимущества в виде простой сборки с экономией времени, высокотемпературные сверхпроводящие статоры состоят из материала, который объединен слоистым образом, и выполнены наподобие полосы или троса в их продольном направлении. Преимущество в виде простого и экономичного в части материала конструктивного исполнения устройства достигается тем, что высокотемпературные сверхпроводящие статоры выполнены в виде термоизолированной конфигурации «труба в трубе», в которой внутренняя «холодная» труба, соединенная с ВТСП-статором, имеет температуру, которая ниже сверхпроводящей критической температуры, а внешняя труба имеет температуру окружающей среды. Предпочтительный вариант реализации устройства для применения при высоких рабочих скоростях достигается, если внешняя труба выполнена из материала, обладающего высокой электропроводимостью, подходящей для генерирования вихревых токов, и за счет этого обеспечивает дополнительную магнитную стабилизацию во время операции вращательного прядения и скручивания. Устойчивый магнитный подвес роторов при одновременных низких издержках достигается тем, что статоры в каждом случае выполнены из кристалла $YBaCuO$, имеющего состав $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ (Y123), или одного кристалла группы $REBaCuO$, имеющего состав $RE_1Ba_2Cu_3O_x$ (RE - редкоземельный), и сверхпроводников семейства висмутов $BiSrCaCuO$.

Настоящее изобретение обеспечивает технические и экономические улучшения машин благодаря применению новых линейных и сверхпроводящих вариантов объемного ВТСП-статора. Устройство по изобретению обеспечивает функционирование роторов с высокой скоростью и практически без трения. Это достигается благодаря значительно более упрощенному подвесу статора, а также благодаря возможности одновременного охлаждения всех вовлеченных статоров.

Представленное решение упрощает получение модульного исполнения и совместное охлаждение с помощью жидкого азота LN₂. Кроме того, значительно снижаются издержки на ВТСП-материал и оборудование.

Изобретение будет описано более подробно далее со ссылкой на вариант реализации. На чертежах иллюстративно изображено следующее:

Фиг. 1: схематический сравнительный вид существующего и нового магнитного подшипника и роторов,

Фиг. 2: вид в перспективе магнитного подшипника, содержащего три статора,

Фиг. 3: вид в поперечном сечении магнитного подшипника, содержащего три статора,

Фиг. 4: вид в перспективе магнитного подшипника, содержащего два статора,

Фиг. 5: вид в поперечном сечении магнитного подшипника, содержащего два статора,

Фиг. 6: внутреннее конструктивное исполнение статора,

Фиг. 7: схематическое изображение дополнительной стабилизации ротора, и

Фиг. 8: окружающая оболочка ротора, предназначенная для компенсации динамических усилий.

На Фиг. 1 схематически изображено сравнение между традиционным кольцевым скручиванием одной нити (а) и высокоскоростным способом кольцевого прядения с помощью ВТСП посредством конструкции наматывающего кольца и направляющего элемента, подвешенной магнитным образом и без трения (б). Для этой цели, веретена 3

вместе с нитью, намотанной с образованием катушек 5, установлены магнитно между двумя высокотемпературными сверхпроводящими статорами 1, расположенными параллельно. В обоих вариантах используются кольцевые магнитно установленные роторы 2, вырабатывающие магнитное поле. Нить, подлежащая наматыванию, подается посредством подающей системы 16 машины. Разница между двумя решениями заключается в конструктивном исполнении магнитного подшипника и охлаждающей системы для высокотемпературного сверхпроводника, которые необходимы в каждом случае. Магнитный ВТСП-подшипник обычно расположен таким образом, что он коаксиален каждому веретену 3, а охлаждающая система комплексно адаптирована под каждый отдельный подшипник. В отличие от этого, в случае магнитного подшипника по изобретению, магнитный подвес обеспечивается между двумя соседними ВТСП-статорами, проходящими вдоль ряда веретен. В этом случае, необходимая охлаждающая система выполнена с возможностью обеспечения одновременного охлаждения всех статоров простым способом.

На виде в перспективе, показанном на Фиг. 2, изображен сверхпроводящий магнитный подшипник, содержащий три статора 1. Роторы 2 выполнены в виде постоянных магнитных колец со встроенными направляющими элементами (например, ушками). Статоры 1 оснащены высокотемпературными сверхпроводниками (ВТСП), проходящими параллельно друг другу и вдоль ряда веретен. В каждом случае роторы 2 магнитно установлены в промежуточном пространстве между двумя соседними статорами 1. Кроме того, при необходимости возможно параллельное размещение дополнительных статоров 1. Небольшая труба 8 с расположенными на ней ВТСП-сверхпроводниками введена во внутреннее пространство статоров 1, выполненных в виде труб 9. Указанные сверхпроводящие материалы 4 частями нанесены в продольном направлении трубы 8 таким образом, чтобы достигалось целевое положение соответствующего ротора 2. Представленное решение адаптировано к традиционным кольцепрядильным машинам в части конструкции и исполнения. С точки зрения линейной конструкции, представленная инновация придерживается традиционного исполнения кольцепрядильной машины и исключает необходимость в значительных изменениях кольцепрядильной машины, если традиционные кольцевые направляющие устройства заменены сверхпроводящими

магнитными проводниками (СМП). В этом случае система функционирует бесконтактным образом и имеет очень низкое трение при вращении.

Свободное подвешивание комбинации ротора над ВТСП-статором 1 и его вращение практически со скоростью веретена обеспечивает возможность значительного устранения тепла при трении ротора 2 даже при дальнейшем увеличении скорости ротора. В этом случае, при динамическом процессе между нитью и направляющим элементом вырабатывается только низкая сила трения. Генерируемое вращение ротора 2 значительно снижает фрикционное взаимодействие между нитью и направляющим элементом, в результате чего устраняется большая часть источника тепла. В этом случае, ротор 2 и статор 1 выполнены таким образом, что в каждом случае образуется круговой воздушный зазор, обеспечивающий аксиальное разделение между ротором 2 и статором коаксиально веретену 3. Нить направляется через вращающийся направляющий элемент и может наматываться на вращающийся корпус катушки. В отличие от более ранних решений подшипника, в которых соседние веретена 3 функционируют в условиях температуры окружающей среды в сквозном соединении криостата, в новом решении нет необходимости поддерживать веретена 3 отдельно друг от друга и вдоль ряда веретен имеется свободное пространство. Эта конструкция обеспечивает комбинированное охлаждение LN₂ ряда соответствующих статоров 1, имеющих большое свободное пространство. Кроме того, этим обеспечивается возможность намного более простого обслуживания или замены веретена 3 и катушек.

На Фиг. 3 изображен схематический вид в поперечном сечении конструкции магнитного подшипника, образованного тремя статорами 1. На ней можно видеть расположение внутренних труб 8 в соответствующих внешних трубах 9. В каждом случае роторы 2 вместе с соответствующими веретенами 3 магнитно подвешены в промежуточном пространстве между двумя соседними статорами 1. Одновременное охлаждение всех сверхпроводников между трубами (8; 9) осуществляется за счет охлаждения жидким азотом (LN₂).

На иллюстрации по Фиг. 4 изображен вид в перспективе магнитного подшипника, состоящего из двух статоров 1. В этом варианте реализации ВТСП-сверхпроводники 4 также нанесены на внутреннюю трубу 8 частями в продольном направлении статоров 1 и расположены таким образом, что они могут обеспечивать предполагаемое положение веретен 3 магнитным образом. Кроме того, также обеспечивается возможность выполнения ВТСП-сверхпроводников 4 наподобие полосы или троса, при этом сверхпроводник наносится на внутреннюю трубу 8 по всей длине статора 1 в ходе сборки. В точках магнитного подвеса ротора 2, предусмотренных в каждом случае, ВТСП-сверхпроводник, который в целом выполнен слоистым, уже адаптирован к значениям напряженности магнитного поля, подлежащим генерированию, в процессе изготовления.

На Фиг. 5 изображен вид в поперечном сечении магнитного подшипника, образованного двумя статорами 1. Помимо уже описанного подвеса роторов 2, на этом схематическом чертеже можно увидеть охлаждающие линии 15, проходящие во внутреннее пространство статоров 1 и выходящие из него.

На иллюстрации по Фиг. 6 изображено внутреннее конструктивное исполнение статора 1. В этом случае, внешняя труба 9, имеющая квадратное сечение, представляет собой вакуумную камеру для подобной внутренней трубы 8, имеющей квадратное сечение. ВТСП-сверхпроводник 4 адгезивно сцеплен с внутренней охлаждающей трубой 8. Во внутреннюю трубу 8 вводится жидкий азот, выступающий в роли охладителя. Магнитная фиксация внутренней трубы 8, соединенной с ВТСП-сверхпроводником 4, осуществляется посредством разделительных элементов 10, состоящих из стекловолоконных структур. Они выполнены таким образом, что находятся в теплопроводящем соединении с внешней трубой 9 только в точечных упорах 11, 12. В результате, теплопроводящее соединение между «холодной» внутренней трубой 8 и внешней трубой 9, имеющей температуру окружающей среды, в высокой степени предотвращается. Поскольку балки могут быть выполнены из легковесного сплава AL, конструкция может быть выполнена очень компактной и легковесной. Кроме того, материал сплава AL криостата обеспечивает высокое тепловое соединение между внутренней трубой 8 и ВТСП-сверхпроводником 4. Однако следует учитывать высокий коэффициент теплового расширения сплава AL при

температуре окружающей среды при определении и фиксации точного продольного положения сверхпроводящих статоров 1 в несущих элементах длиной 4-5 м.

На Фиг. 7 изображен схематический вид дополнительной стабилизации положения ротора 2. Помимо левитации кольцевого ротора 2, направляющего нить, в качестве инновации обеспечивается дополнительная стабилизация за счет электрических вихревых токов 17, которые индуцируются в криостате и статорах 1. Внутренняя и внешняя труба выполнена из электропроводящего алюминиевого сплава. В результате, вращающийся ротор 2 будет левитировать над металлическим листом из Al. Таким образом, два явления могут делать свой вклад в стабилизацию вращающегося ротора 2. Согласно правилу Ленца, направление каждого явления магнитной индукции является таким, что оно противоположно причине этого явления. В результате, направление магнитной силы двигающегося магнита противоположно его движению. Индуцируемый ток приводит к сохранению существующего положения тока за счет того, что он противодействует движению или изменению потока. Над статорами 1 имеет место подъем в нормальном направлении относительно проводящей плоскости и сила динамического торможения, противоположная направлению вращения. Следовательно, обе силы способствуют дополнительному удержанию и стабилизации вращающегося ротора 2 во время наматывания и скручивания. Еще в одном варианте реализации обеспечивается выработка силы торможения, которая в результате изменения периферийной намагниченности кольцевого ротора 2 обеспечивает быстрое торможение вращающегося ротора 2. При низкой скорости сопротивление пропорционально скорости $v = \omega/r$ и больше подъема, который пропорционален v^2 .

По мере увеличения скорости ротора 2 сопротивление достигает своего максимума и снижается на $1/(v)^{1/2}$. В отличие от этого, подъем, который стабилизирует ротор 2, увеличивается при низкой скорости на v^2 и обгоняет сопротивление в меру увеличения скорости. Соотношение подъема к сопротивлению имеет значительное практическое значение и в результате дает $f_L/f_D = v/v_i$, где v и v_i – это скорости магнитного диполя над проводящим листом и соответствующее позитивное и негативное изображение, распространяющееся вниз со скоростью v_i .

На графике по Фиг. 8 изображено фундаментальное поведение роторов 2 в случае применения в высокоскоростном кольцевом прядении. Согласно решению по изобретению, в случае высоких скоростей, трение при вращении и динамические эффекты магнитного подшипника особенно важны. В этой области особое значение имеют существенные преимущества сверхпроводящих подшипников по сравнению с традиционными подшипниками. Сверхпроводящие пассивные магнитные подшипники имеют, по существу, более низкое трение по сравнению с традиционными роликовыми подшипниками по меньшей мере по меньшей мере на коэффициент, равняющийся сорока. Даже при сравнении с пневматическими подшипниками трение пассивного магнитного ВТСП-подшипника находится в диапазоне промилле, а следовательно, неожиданно является малым. Такое чрезвычайно низкое трение является физической основой для инновационной технологии кольцевого прядения вплоть до очень высоких скоростей вращения веретена.

Центробежные силы являются еще одной критической точкой динамики кольцевого ротора. Настоящее изобретение фокусируется на скоростях вращения постоянного магнитного ротора 2, содержащего направляющий элемент для нити, составляющих до 50000 об/мин. Ротор 2 размером 60 см x 40 см x 1 см, выступающий в роли элемента скручивания и вращения, подвергается воздействию очень высоких центробежных сил, которые могут разрушить рабочее кольцо. Согласно первому подходу, необходимо учитывать максимальную силу растяжения или плотность силы тангенциальным вектором по внутреннему радиусу r_i .

$$\sigma_t = \rho v^2 = \rho \omega^2 r^2$$

При вращении кольцевого ротора 2 возникают разные центробежные силы, которые могут разрушить ротор 2. Наиболее высокими механическими силами возникают на внутреннем радиусе вращающегося кольца. Значение растягивающей нагрузки спеченного NdFeB составляет приблизительно 80 - 90 МПа (12000 фунтов на кв. дюйм). Однако при скорости вращения 50000 об/мин вокруг веретен, ПМ-кольцо, выполненное из NdFeB и имеющее

размер 60 x 40 x 10, подвергается воздействию максимальной тангенциальной плотности силы ~185 МПа, что более чем в два раза превышает естественную растягивающую нагрузку материала. Следовательно, динамические силы должны быть компенсированы соответствующей окружающей оболочкой 18 в периферическом направлении ротора 2.

Кольцевая оболочка 18 должна быть выполнена из материалов, имеющих высокую растягивающую нагрузку, т.е. металла, такого как немагнитная нержавеющая сталь, высокопрочные сплавы Al или Mg, или она может быть неметаллическим кольцом, выполненным из соединений стекловолокна или углеводородного волокна. В наилучшем и оптимальном случае, предохранительное кольцевое армирование обеспечивает предварительное давление на ротор 2 даже при нулевой скорости, а затем предотвращает возникновение каких-либо трещин или дефектов магнитного кольца из NdFeB при рабочих скоростях, ниже номинальных. В качестве практического варианта решения, было выбрано предохранительное кольцо толщиной 3 мм из алюминиевого сплава AL7075, жестко соединенное с ротором 2 посредством термической усадки.

Перечень ссылочных обозначений

- | | |
|----|------------------------|
| 1 | статор |
| 2 | ротор |
| 3 | веретено |
| 4 | ВТСП-сверхпроводник |
| 5 | катушка |
| 6 | нить |
| 7 | направляющий элемент |
| 8 | внутренняя труба |
| 9 | внешняя труба |
| 10 | разделительный элемент |
| 11 | точечный упор |
| 12 | точечный упор |
| 13 | оболочка |
| 14 | рабочий газ N2 |

- 15 охлаждающие линии
- 16 подающая система
- 17 электрический вихревой ток
- 18 оболочка

Список непатентной литературы

[1] Landau, L.D., Lifschitz E, M., *Mechanik, Elektrodynamik*, Akademie-Verlag Berlin, 1973

[2] Smythe, W.R. "On Eddy Currents in a Rotating Disk", *Transactions* 681, Vol. 61, 1942

[3] Zhigang Xia und Weilin Xu, A Review of Ring Stable Yarn Spinning Method
Entwicklung und ihre Trendvorhersage, *Journal of Natural Fibers*, 10:1, 62-81.
Innovativer Zwirnmechanismus basierend auf supraleitender Technologie für höhere
Produktivität in Ringspinnmaschinen, *Textile Research Journal*, 84, (2014) 8, S. 871-880.

[4] Werfel F et al. "Centrifuge advances using HTS magnetic bearings", *Physica C* 354, pp. 13-17, 2001.

[5] Hussain M. (2010) Theoretische Analyse von supraleitenden Magnetlagern und deren Eignung im Ring/Trawler-System in der Ringspinnmaschine. Technische Universität (TU) Dresden, Deutschland.

[6] Rahman M and Golam N, Recent Innovations in Yarn Technology: A Review, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 4, Issue 6, June 2014
ISSN 2250-3153.

[7] Hossain, M.; Abdkader, A.; Cherif, C.; Sparring, M.; Berger, D.; Fuchs, G.; Schultz, L. (Siehe online unter <https://doi.org/10.1177/0040517513512393>)
Supraleitendes Magnetlager als Drallelement in Textilmaschinen, *IEEE Transactions on*

Applied Superconductivity, 25 (2015) 3, S. 3600504/1-4.8] Sparing, M.; Hossain, M.; Berger, D.; Berger, A.; Abdkader, A.; Fuchs, G.; Cherif, C.; Schultz, L.

(Siehe online unter <https://doi.org/10.1109/TASC.2014.2366001>) C ryogeni c System for the Integration of a Ring-Shaped SMB in a Ring-Spinning Tester, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 26 (2016) 3, S. 3601105/1-5.

[8] Berger, A.; Hossain. M.; Sparing, M.; Berger, D.; Fuchs, G.; Abdkader, A.; Cherif, C.; Schultz, L (Siehe online unter <https://doi.org/10.1109/TASC.2016.2524502>) Dynamics of Rotating Superconducting Magnetic Bearings in Ring Spinning, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 26 (2016) 3, S. 3600804/1-4.

[9] Spa ring, M.; Berger, A.; Wall, F.; Lux, V.; Hameister, S.; Berger, D.; Hossain, M.; Abdkader, A.; Fuchs, G.; Cherif, C.; Schultz L. <https://doi.org/10.1109/TASC.2016.2524641>) Mathematische Modellierung des dynamischen Fadenlaufs in Abhängigkeit von der Spindeldrehzahl in einem Ringspinnprozess, Textile Research Journal, 86 (2016) 11, S. 1180-1190.

[10] Hossain, M.; Tente, C; Abdkader, A.; Cherif, C., Beitelschmidt M. <https://doi.org/10.1177/0040517515606355>), Messmethoden der dynamischen Fadenspannung in einem Ringspinnprozess, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 1 (2016) 115, S. 36-43.

[11] Hossain, M.; Abdkader, A.; Nocke, A.; Reimar, U; Krzywinski, F.; Hasan, Mmb.; Cherif, C. (Siehe online unter <https://doi.org/10.5604/12303666.1172098>) Mathematische Modellierung des dynamischen Fadenverlaufs in Abhängigkeit von der Spindeldrehzahl in einem Ringspinnprozess auf Basis eines supraleitenden Magnetlagers, Textile Research Journal, 87 (2017) 8, S. 1011-1022.

[12] Hossain, M.; Telke, C.; Sparing, M.; Abdkader, A.; Nocke, A; Unger, R; Fuchs, G; Berger, A; Cherif, C.; Beitelschmidt, M; Schultz, L. <https://doi.org/10.1177/0040517515606355>)Modellierung des Fadenlaufs am

Ringspinnverfahren mit supraleitendem Hochleistungsdrallerteilungssystem. Melliand Textilberichte 1(2017), S. 30-32.

[13] Hossain, M.; Abdkader, A.; Cherif, C. Analysis of yarn properties in superconducting magnetic bearing based ring-spinning process. *Textile Research Journal* 88 (2018) 22, 5. 2624-2638, Hossain, M.; Abdkader, A.; Cherif, C. <https://doi.org/10.1177/0040517517725122>), Mathematische Modellierung des dynamischen Fadenverlaufs unter Berücksichtigung des Ballonsteuerungsringes und der Elastizität des Fadens im Ringspinnprozess auf der Basis des supraleitenden Lagerzwirnelements. *Fibres & Textiles in Lastern Europe*, 26 (2018) 5, S. 32-40.

[14] Hossain, M.; Telke, C; Abdkader, A.; Sparing, M.; Espenhahn T.; Huhne, R.; Cherif, C.; Beitelschmidt, M., <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2528>)Theoretisches Modell des Fadenlaufs unter Berücksichtigung des Ballonsteuerungsringes und der Fadenelastizität in einer Ringspinnmaschine mit supraleitendem Magnetlager. In: CD- Rom. 18th Autex World Textile Conference (Türkei), June 20-22, 201.

[15] Hossain, M., Telke, C; Abdkader, A.; Espenhahn, T.; Cherif, Beitelschmidt, M. 300 prozentige Leistungssteigerung der Verspinnung von Chemiefasern auf der Turboringspinnmaschine mit reibungsfreiem supraleitenden Drallerteilungssystem. In: Tagungsband. 58. Dornbirn Global Fiber Congress, Österreich, 11. bis 13. September 2019.

[16] Hossain, M., Abdkader, A.; Cherif, C.; Sparing, M.; Espenhahn, T.; Hühne, R.; Nielsch, K. In situ measurement of dynamic yarn path in a turbo ring spinning process based on superconducting magnetic bearingtwisting system, *Textile Research Journal* (2019).

[17] Hossain, M.; Sparing, M.; Espenhahn T.; Abdkader, A.; Cherif, C.; Huhne, R.; Nielsch, K., <https://doi.org/10.1177/0040517519879899>, Influence of the magnet aspect

ratio on the dynamic stiffness of a rotating superconducting magnetic bearing, *J. Phys. D* (2019).

[18] Espenhahn, T., W Underwald, F., Möller, M., Sparing, M., Hossain, M., Fuchs, G., Abdkader, A., Cherif, C., Nielsch, K. , Huhne, R., <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab4ed4>), Neue Generation Turbo-Ringspinnmaschine bis zur Winkelspindeldrehzahl von 50.000 U/min. In: ITMA INNOVATION LAB SPEAKERS PLATFORM, ITMA 2019 (Barcelona) June 20-26, 2019.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для наматывания и скручивания волокнистого материала в кольцепрядильных или кольцекрутильных машинах, содержащее статоры, которые содержат по меньшей мере один высокотемпературный сверхпроводящий материал и средство охлаждения статора, а также содержащее кольцевые роторы, вырабатывающие магнитное поле, которые коаксиально связаны с вращающимися веретенами и которые вместе с соединенным направляющим элементом предназначены для направления и наматывания нити на соответствующее веретено, **отличающееся тем, что** по меньшей мере два высокотемпературных сверхпроводящих статора (1) вместе с термически соединенными устройствами для их охлаждения расположены бесконтактно и параллельно друг другу вдоль ряда веретен, а роторы (2), вырабатывающие магнитное поле, ориентированные коаксиально относительно веретена (3), введены магнитным левитирующим образом в магнитное поле в непрерывном промежуточном пространстве между статорами (1), которые в каждом случае находятся рядом друг с другом.

2. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** роторы (2), вырабатывающие магнитное поле, снабжены ферромагнитными коллекторами магнитного потока, предназначенными для увеличения напряженности поля и направления магнитного поля в сторону высокотемпературного сверхпроводника (4).

3. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** каждый высокотемпературный сверхпроводящий статор (1) состоит из по меньшей мере двух объемных ВТСП-элементов, которые выполнены с возможностью отделения друг от друга частями и которые связаны с соответствующими роторами, вырабатывающими магнитное поле (2).

4. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** высокотемпературные сверхпроводящие статоры (1) состоят из материала, который объединен слоистым образом, и выполнены наподобие полосы или троса в их продольном направлении.

5. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** высокотемпературные сверхпроводящие статоры выполнены в виде термоизолированной конфигурации «труба в трубе», в которой внутренняя «холодная» труба (8), соединенная с ВТСП-статором (1), имеет температуру, которая ниже сверхпроводящей критической температуры, а внешняя труба (9) имеет температуру окружающей среды.

6. Устройство по пп. 1 и 5, **отличающееся тем, что** внешняя труба (9) выполнена из материала, обладающего высокой электропроводимостью, подходящей для генерирования вихревых токов, и за счет этого обеспечивает дополнительную магнитную стабилизацию во время операции вращательного прядения и скручивания.

7. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** статоры (1) в каждом случае выполнены из кристалла $YBaCuO$, имеющего состав $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ (Y123), или одного кристалла группы $REBaCuO$, имеющего состав $RE_1Ba_2Cu_3O_x$ (RE - редкоземельный), и сверхпроводников семейства висмутов $BiSrCaCuO$.

8. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** статоры (1) в каждом случае состоят из множества единичных кристаллов, расположенных бок о бок или выращенных совместно.

9. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** каждый ротор (2), вырабатывающий магнитное поле, содержит окружающую оболочку (13), которая состоит из материала, имеющего высокую растягивающую нагрузку, для компенсации своих центробежных сил.

10. Устройство по п. 1, **отличающееся тем, что** для обеспечения дополнительной стабилизации в узле статор-криостат, электродинамическая левитация достигается посредством материала с высокой электропроводимостью и за счет вырабатывания вихревого тока в металлической поверхности криостата.

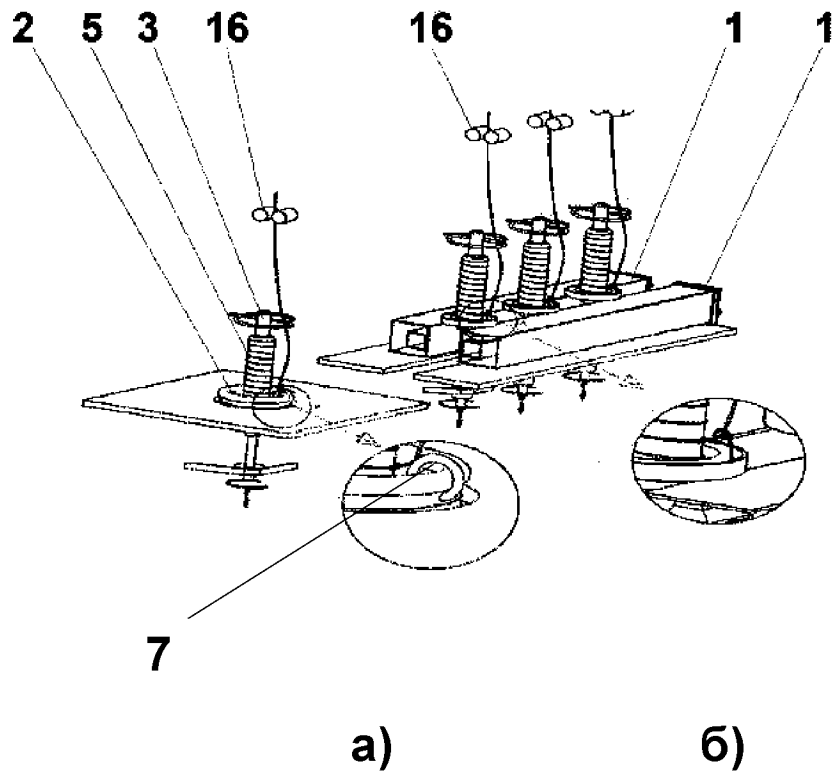
11. Устройство по пп. 1 и 5, **отличающееся тем, что** внутренняя труба (8) охлаждается путем подачи жидкого азота, а теплопередача между внутренней и внешней

трубами (8; 9) предотвращается за счет тепловой вакуумной изоляции между внутренней и внешней трубами (8; 9) и за счет точечных упоров (11; 12) механических разделительных элементов (10), введенных между трубами (8; 9).

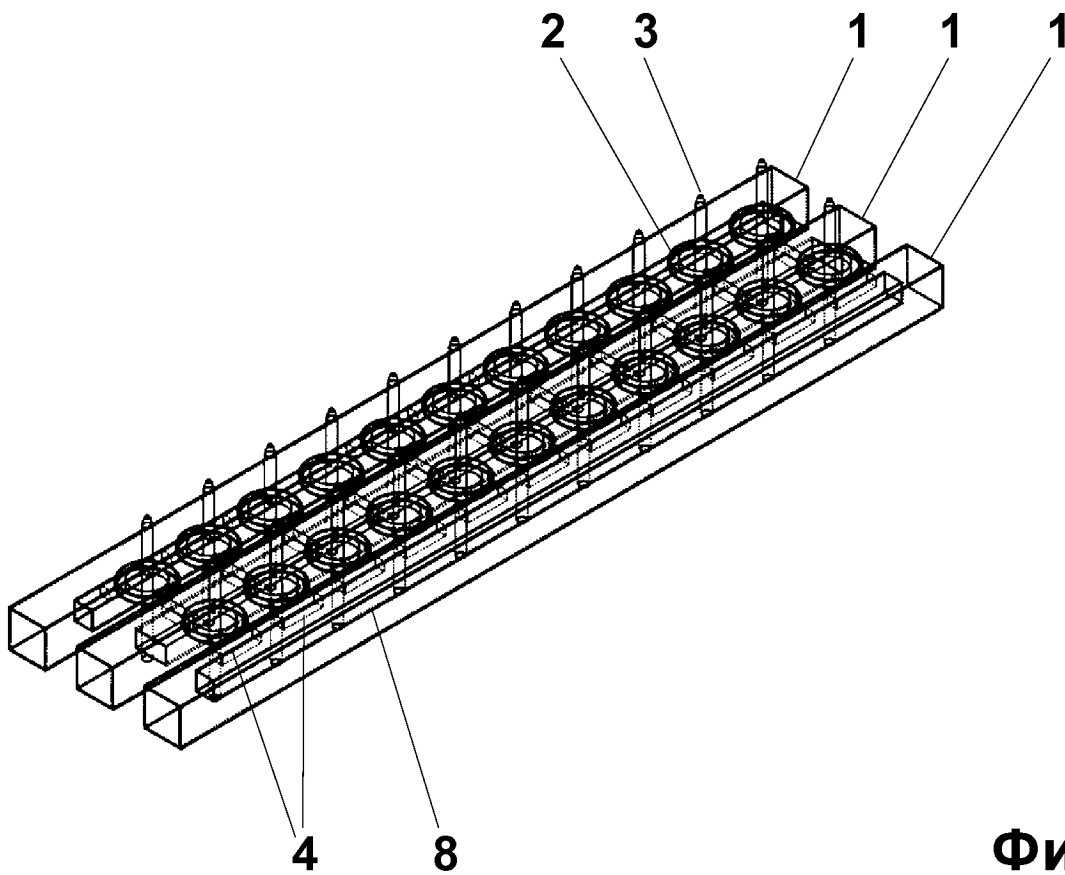
12. Устройство по пп. 1 и 5, **отличающееся тем, что** внутренняя труба (8) охлаждается посредством соединения с криоохладителем.

13. Способ наматывания и скручивания волокнистого материала в кольцепрядильных и кольцекрутильных машинах, в которых постоянные магнитные кольца, выступающие в роли роторов, установлены в высокотемпературных сверхпроводящих магнитных подшипниках, **отличающийся тем, что** в нем обеспечивают устройство по любому из пп. 1-12, роторы (2), которые коаксиально связаны с веретенами (3), устанавливают магнитным левитирующим образом в непрерывном промежуточном пространстве между двумя статорами (1), которые соединены с криостатами, а также расположены параллельно и бесконтактно вдоль ряда веретен, причем одновременное охлаждение всех статоров (1) осуществляется криостатами, соединенными со статорами (1), а следовательно, также проходят вдоль ряда веретен.

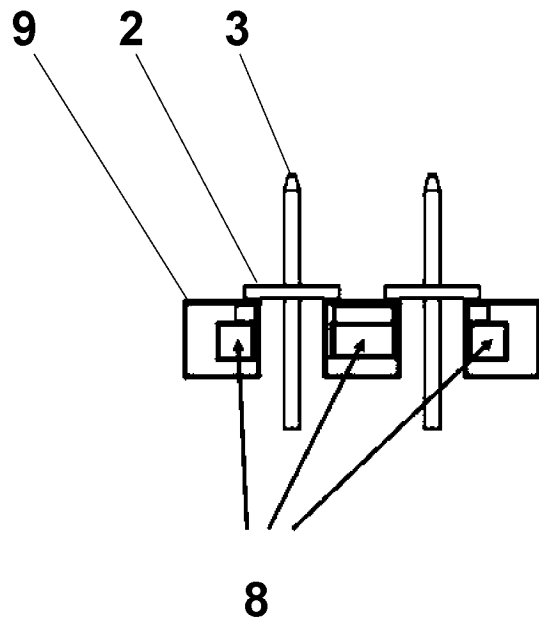
14. Способ по п. 13, **отличающийся тем, что** охлаждение статоров (1) осуществляют путем подачи жидкого азота по внутренней трубе (8), проходящей вдоль ряда веретена и являющейся частью соединения «труба в трубе» криостата, теплоизоляцию между внутренней и внешней трубами (8; 9) обеспечивают посредством вакуумной изоляции, а возвращенный «холодный» рабочий газ N₂ (14) конденсируют путем непрерывного механического повторного охлаждения и превращения в жидкость, и подают обратно в охлаждающий контур.



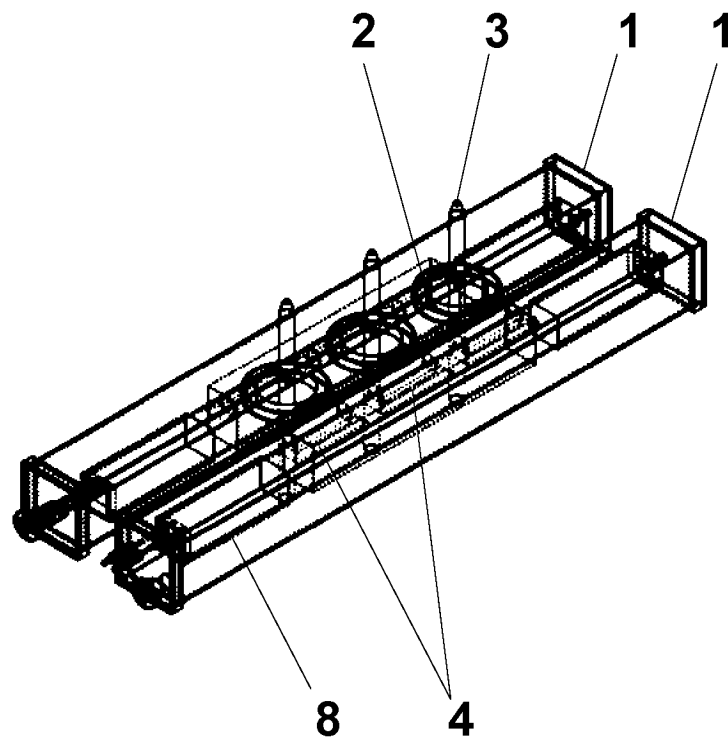
Фиг. 1



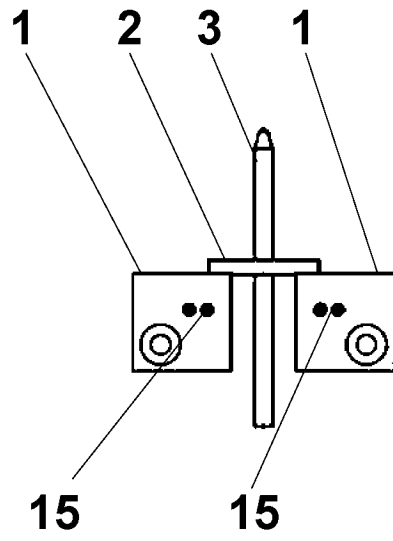
Фиг. 2



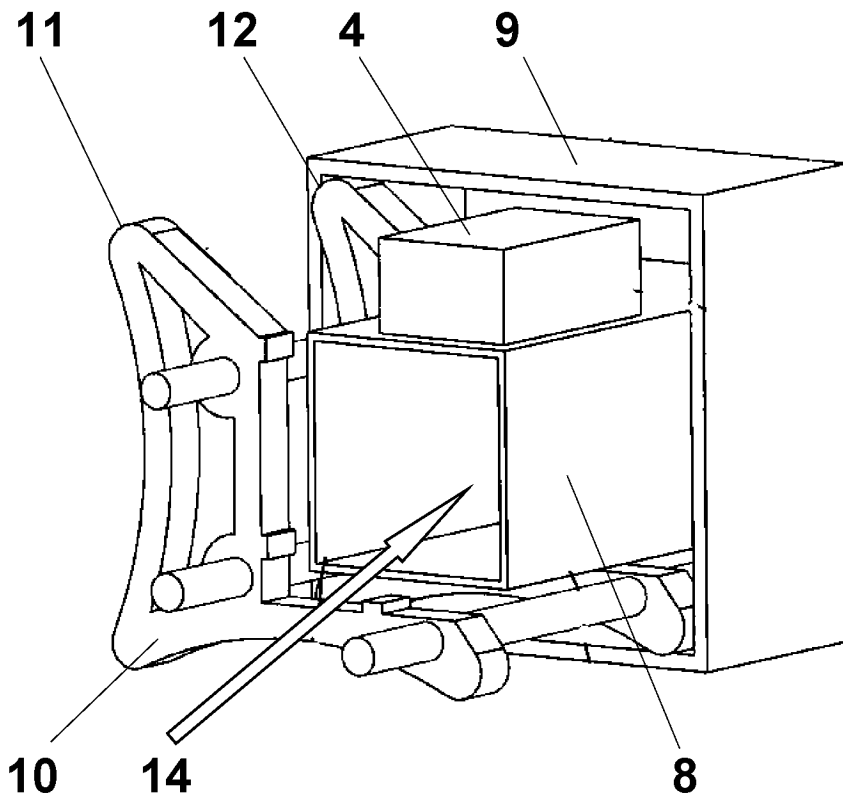
Фиг. 3



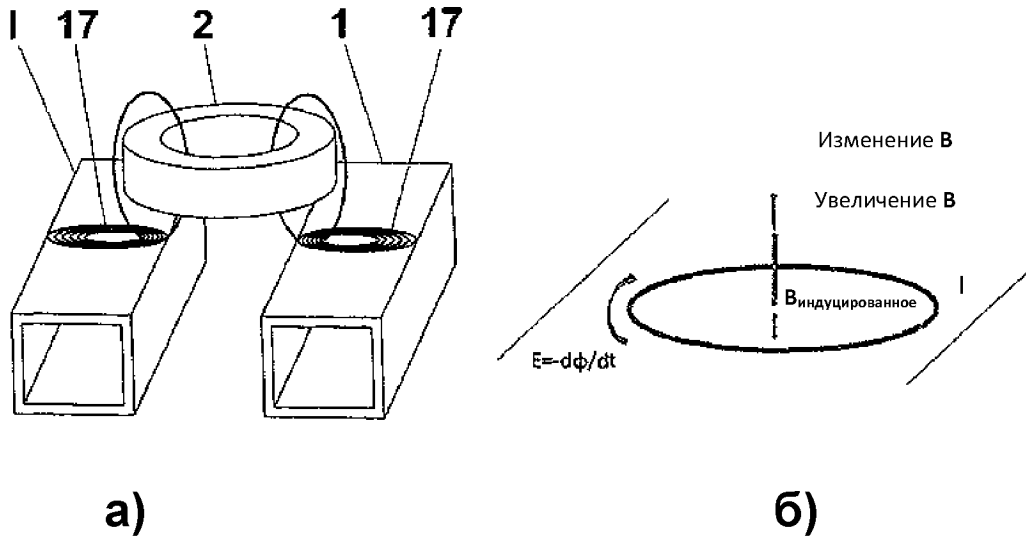
Фиг. 4



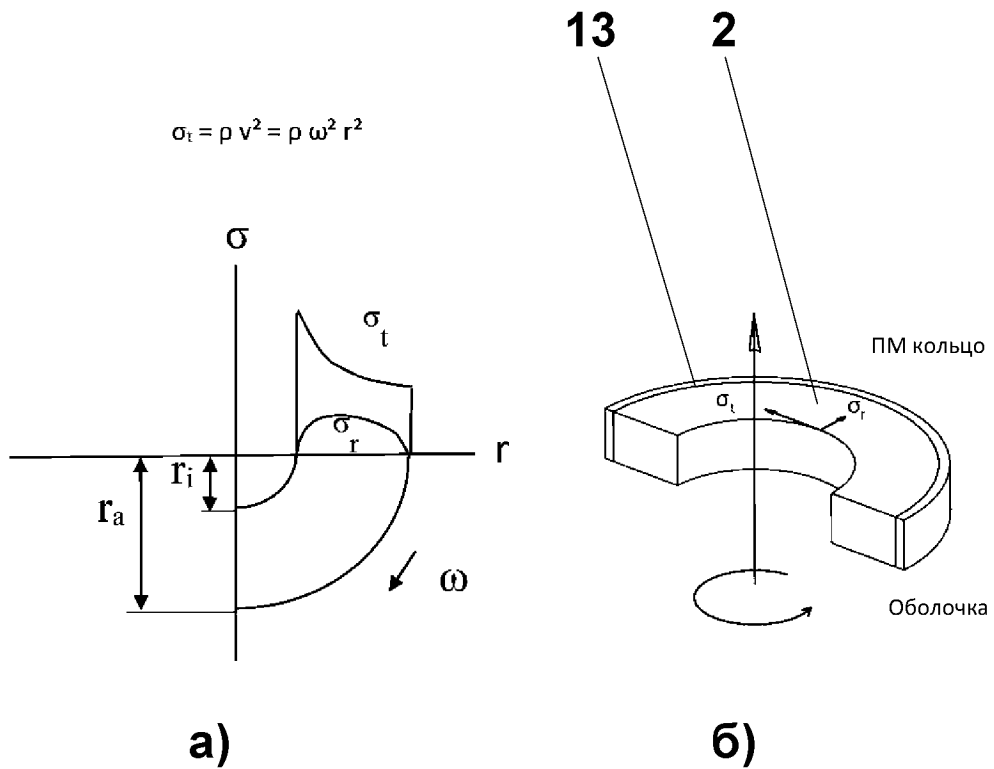
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8