



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007124562/09, 31.10.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
31.10.2005(30) Конвенционный приоритет:  
02.12.2004 JP 2004-350327

(45) Опубликовано: 10.12.2008 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2099806 C1, 20.12.1997. JP 11066982  
A, 09.03.1999. DE 4006094 A1, 29.08.1991. SU  
854216 A, 30.04.1982. SU 1806426 A3, 30.03.1993.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:  
02.07.2007(86) Заявка РСТ:  
JP 2005/020019 (31.10.2005)(87) Публикация РСТ:  
WO 2006/059447 (08.06.2006)

Адрес для переписки:  
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):  
ХИРОСЕ Масаюки (JP)(73) Патентообладатель(и):  
СУМИТОМО ЭЛЕКТРИК ИНДАСТРИЗ, ЛТД. (JP)

RU 2 340 970 C1

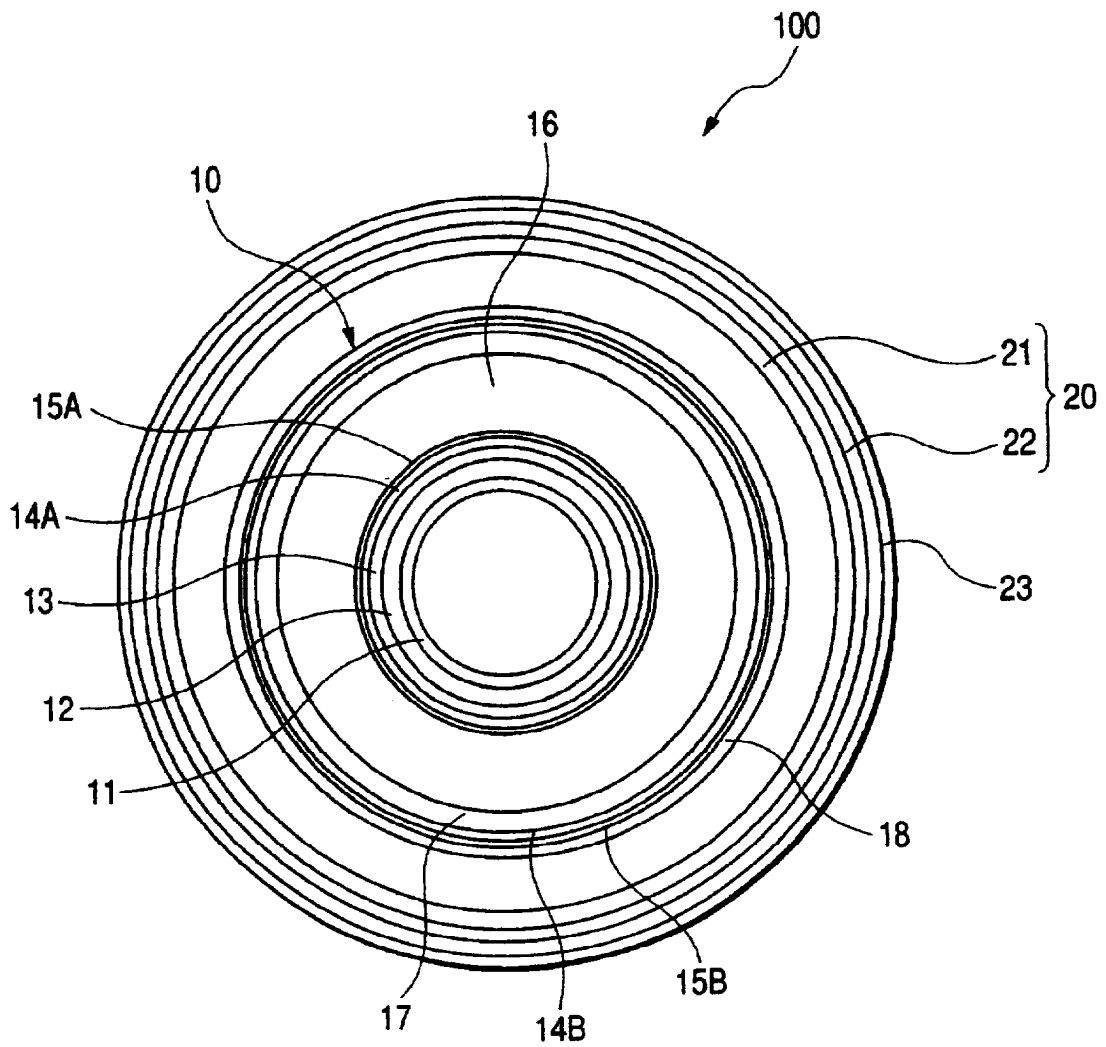
RU 2 340 970 C1

## (54) СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ КАБЕЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в частности к сверхпроводящему кабелю, способному поглощать тепловое сжатие сверхпроводящего провода. Сверхпроводящий кабель включает в себя сверхпроводящий провод, спирально намотанный с образованием сверхпроводящего слоя (слоя-проводника (13), обратного проводника (17)), слой релаксации напряжений (внутренний слой релаксации напряжений (12), изолирующий слой/внешний слой

релаксации напряжений (16)), предусмотренный на внутренней стороне сверхпроводящего слоя, и составляющий кабель элемент (каркас (11)), предусмотренный на внутренней стороне слоя релаксации напряжений. Слой релаксации напряжений выполнен с возможностью поглощения сжатия сверхпроводящего слоя в радиальном направлении вследствие охлаждения сверхпроводящего провода хладагентом, что является техническим результатом изобретения. 8 з.п. ф-лы, 4 ил., 1 табл.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2007124562/09, 31.10.2005**

(24) Effective date for property rights: **31.10.2005**

(30) Priority:  
**02.12.2004 JP 2004-350327**

(45) Date of publication: **10.12.2008 Bull. 34**

(85) Commencement of national phase: **02.07.2007**

(86) PCT application:  
**JP 2005/020019 (31.10.2005)**

(87) PCT publication:  
**WO 2006/059447 (08.06.2006)**

Mail address:  
**129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i  
Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):  
**KHIROSE Masajuki (JP)**

(73) Proprietor(s):  
**SUMITOMO EHLEKTRIK INDASTRIZ, LTD. (JP)**

(54) **SUPER-CONDUCTING CABLE**

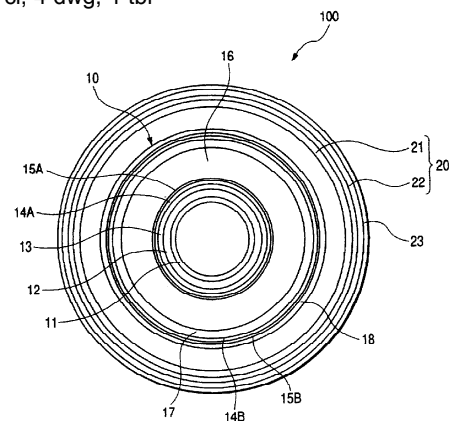
(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering, particularly to super-conducting cable capable to absorb thermal compression of super-conducting wire. Super-conducting cable comprises a super-conducting wire coiled to form a super-conducting layer (layer-conductor) (13), reverse conductor (17), a layer of strain relaxation (12), an insulating layer or an outer strain relation layer (16) arranged on the super-conducting layer outer side and cable carcass, (11) arranged on the strain relaxation layer inner side.

EFFECT: superconducting layer compression absorption by cooling superconducting wire with coolant.

9 cl, 4 dwg, 1 tbl



ФИГ. 1

RU 2 340 970 C1

RU 2 340 970 C1

**Область техники**

[0001] Настоящее изобретение относится к сверхпроводящему кабелю. Изобретение, в частности, относится к сверхпроводящему кабелю постоянного тока, способному поглощать тепловое сжатие сверхпроводящего провода.

**Предшествующий уровень техники**

[0002] В качестве сверхпроводящего кабеля был предложен сверхпроводящий кабель, показанный на фиг.4. Сверхпроводящий кабель 100 выполнен имеющим конструкцию, в состав которой входит три кабельных жилы 10 внутри теплоизолирующей трубы 20 (смотри, например, патентную ссылку 1, патентную ссылку 2).

[0003] Кабельная жила последовательно от своего центра включает в себя каркас 11, проводящий слой 13, изолирующий слой 16А, экранирующий слой 17А, защитный слой 18. Проводящий слой 13 образуется путем спиральной намотки сверхпроводящего провода во много слоев. Обычно используют сверхпроводящий провод лентообразной формы, в котором множество отрезков волокон, содержащих оксидный сверхпроводящий материал, располагается в матрице серебряной оболочки или т.п. Изолирующий слой 16А образуется путем намотки изолирующей бумаги. Экранирующий слой 17А образуется путем спиральной намотки сверхпроводящего провода подобно проводящему слою 13 поверх изолирующего слоя 16А. Кроме того, для защитного слоя 18 используется изолирующая бумага или т.п.

[0004] Кроме того, изолирующая труба 20 выполнена имеющей конструкцию, в которой изолирующий элемент (не показан) располагается между сдвоенными трубами, содержащими внутреннюю трубу 21 и внешнюю трубу 22, и внутренность этих сдвоенных трубок вакуумируется. Устойчивый к коррозии слой 23 формируется на внешней стороне теплоизолирующей трубы 20. Кроме того, состояние применения представляет собой состояние, в котором хладагент в виде жидкого азота или т.п. заполняет и циркулирует через пространство, образованное внутри каркаса 11 (в случае, когда он полый) или между внутренней трубой 21 и жилой 10, и хладагент пропитывается в изолирующий слой 16А.

[0005] Патентная ссылка 1:

Выложенная публикация японского патента: JP-A-2003-249130 (фиг.1)

Патентная ссылка 2:

Выложенная публикация японского патента: JP-A-2002-140944 (фиг.2)

**Раскрытие изобретения***Проблемы, решаемые изобретением*

[0006] Между тем, в вышеописанном сверхпроводящем кабеле при работе сверхпроводящий провод охлаждается хладагентом до чрезвычайно низкой температуры, при этом сжимаясь, и, следовательно, требуется строение с поглощением величины этого сжатия. Однако не было обнаружено простого строения в качестве механизма поглощения величины сжатия.

[0007] Хотя согласно строению, включающему в себя 3 кабельные жилы, может быть предпринята мера противодействия для поглощения сжатия путем ослабления скрученных жил, в случае сверхпроводящего кабеля с одной-единственной жилой такая мера противодействия не может быть предпринята. Следовательно, можно бороться с этим, позволив механическому напряжению воздействовать на сверхпроводящий провод в соответствии с сжатием при охлаждении или обеспечив скольжение периферической концевой части сверхпроводящего кабеля в соответствии с термическим сжатием данного кабеля.

[0008] Однако в первом случае напряжению от сжатия позволяют воздействовать на сверхпроводящий провод и, следовательно, существует случай, при котором в зависимости от интенсивности напряжения в сверхпроводящем проводе возникает сильное растяжение, сверхпроводящий провод разрушается или на теплоизолирующую трубу действует боковое давление в изогнутой части кабеля в соответствии со сжатием кабеля, снижая теплоизолирующую функцию. В последнем же случае требуется механизм для скольжения

периферического конца сверхпроводящего кабеля, и необходимо применять масштабные меры противодействия сжатию. В частности, меры противодействия сжатию с использование механизма скольжения не подходят для длинной сверхпроводящей кабельной линии, соединенной с помощью множества сверхпроводящих кабелей

5 посредством соединений.

[0009] Данное изобретение создано ввиду вышеописанной ситуации, и его основная задача состоит в том, чтобы создать сверхпроводящий кабель, способный при простом строении поглощать величину сжатия сверхпроводящего провода при охлаждении.

10 [0010] Кроме того, другая задача изобретения состоит в том, чтобы создать сверхпроводящий кабель постоянного тока, способный при простом строении поглощать величину сжатия сверхпроводящего провода при охлаждении.

[0011] Кроме того, другая задача изобретения состоит в том, чтобы создать сверхпроводящий кабель, способный при простом строении поглощать величину сжатия сверхпроводящего провода при охлаждении, а также позволяющий насколько возможно

15 снизить количество использованного сверхпроводящего провода.

*Средства для решения данных проблем*

[0012] Изобретение решает вышеописанную задачу путем придания механизма теплового сжатия сверхпроводящего слоя непосредственно кабельной жиле.

20 [0013] Согласно изобретению предложен сверхпроводящий кабель, включающий в себя: сверхпроводящий провод, составляющий сверхпроводящий слой посредством спиральной намотки, и слой релаксации напряжений, предусмотренный на внутренней стороне сверхпроводящего слоя, при этом величина сжатия в направлении диаметра сверхпроводящего слоя в соответствии с охлаждением сверхпроводящего провода хладагентом поглощается слоем релаксации напряжений.

25 [0014] Посредством обеспечения слоя релаксации напряжений на внутренней стороне сверхпроводящего слоя, когда сверхпроводящий провод сжимается при охлаждении, может быть исключено избыточное растяжение сверхпроводящего провода путем поглощения, по меньшей мере, части величины, соответствующей величине сжатия диаметра сверхпроводящего слоя (величина, на которую диаметр спирально намотанного

30 сверхпроводящего провода снижается при охлаждении) в соответствии с данным сжатием.

[0015] Ниже будет подробно пояснен составляющий элемент сверхпроводящего кабеля согласно изобретению.

35 [0016] Сверхпроводящий кабель согласно изобретению обычно состоит из кабельной жилы и теплоизолирующей трубы, содержащей эту кабельную жилу. Из них кабельная жила сконструирована с базовым строением, включающим слой релаксации напряжений, слой-проводник, изолирующий слой. Обычно кабельная жила снабжена каркасом, образующим составляющий кабель элемент. В противном случае могут быть предусмотрены внешний слой-проводник (экранирующий слой), удерживающий витки слой, амортизирующий слой.

40 [0017] Каркас предназначен для поддержания слоя-проводника, имеющего заданную форму, и может использоваться лентообразный элемент, сформированный имеющим трубчатую форму или спирально, или конструктивный элемент, имеющий структуру скрученной проволоки. В качестве ее материала предпочтительным является немагнитный металлический материал из меди, алюминия или т.п. В ином случае также могут быть использованы различные пластические материалы. Когда каркас имеет трубчатую форму, с

45 точки зрения гибкости предпочтительно образовывать его из гофрированной трубки. В случае, когда каркас имеет трубчатую форму, внутренность этого каркаса может образовывать канал для протекания хладагента.

[0018] Слой релаксации напряжений представляет собой слой, предназначенный для поглощения величины теплового сжатия сверхпроводящего слоя. Сверхпроводящий слой

50 представляет собой слой, образованный путем спиральной намотки сверхпроводящего провода, и включает в себя слой-проводник или внешний слой-проводник (экранирующий слой), как упоминается выше. Сверхпроводящий слой термически сжимается при охлаждении хладагентом до чрезвычайно низкой температуры при эксплуатации кабеля. В

соответствие с тепловым сжатием сверхпроводящего провода также возникает сжатие в направлении диаметра, и, следовательно, когда слой релаксации напряжений, предусмотренный на внутренней стороне сверхпроводящего слоя, сжимается соответственно тепловому сжатию сверхпроводящего провода, функционирование

5 сверхпроводящего провода может быть ограничено избыточным растяжением.

[0019] Слой релаксации напряжений может быть предусмотрен с величиной сжатия, способной поглощать, по меньшей мере, часть величины сжатия диаметра сверхпроводящего слоя, когда он подвергается хладагентом воздействию чрезвычайно

10 низкой температуры. То есть слой релаксации напряжений может быть образован так, чтобы поглощать величину сжатия сверхпроводящего слоя в направлении диаметра в соответствии с охлаждением слоем релаксации напряжений и составляющим кабель элементом, предусмотренным на внутренней стороне слоя релаксации напряжений, или может быть образован так, чтобы поглощать величину сжатия сверхпроводящего слоя в направлении диаметра в соответствии с охлаждением только слоем релаксации

15 напряжений.

[0020] В первом случае сжатие сверхпроводящего слоя поглощается путем сжатия как слоя релаксации напряжений, так и составляющего кабель элемента, и, следовательно, слой релаксации напряжений сам по себе может быть тоньше. В качестве типичного

20 примера составляющего кабель элемента, предусмотренного на внутренней стороне слоя релаксации напряжений, указывается каркас. В последнем случае величина сжатия диаметра сверхпроводящего слоя поглощается слоем релаксации напряжений, и поэтому материал или структуру составляющего элемента на внутренней стороне слоя релаксации напряжений, например, каркаса, можно выбирать свободно.

[0021] Место расположения слоя релаксации напряжений находится на внутренней

25 стороне сверхпроводящего слоя. Например, можно обеспечивать слой релаксации напряжений внутренней стороны слоя-проводника (на внешней стороне каркаса) в качестве слоя релаксации напряжений внутренней стороны или обеспечивать слой релаксации напряжений на внутренней стороне внешнего слоя-проводника (экранирующего слоя) в качестве слоя релаксации напряжений внешней стороны. Когда слой релаксации

30 напряжений обеспечивается на внутренней стороне внешнего слоя-проводника, может быть использован изолирующий слой сам по себе, или же слой релаксации напряжений может быть образован отдельно, в дополнение к изолирующему слою. Когда изолирующий слой сам по себе используется в качестве слоя релаксации напряжений внешней стороны, нет необходимости обеспечивать иной слой релаксации напряжений, чем изолирующий

35 слой, для того чтобы способствовать получению небольшого диаметра кабельной жилы.

[0022] В качестве материала, составляющего слой релаксации напряжений, может предпочтительно использоваться по меньшей мере одно из крафт-бумаги, пластмассовой

40 ленты и композитной ленты из крафт-бумаги и пластмассовой ленты. В качестве пластмассовой ленты предпочтительно может использоваться полиолефиновая, в частности - полипропиленовая, лента. Хотя крафт-бумага обычно недорогая, величина сжатия при охлаждении невелика, и хотя композитная лента из крафт-бумаги и полипропилена дорогая, величина сжатия при охлаждении большая. В частности, в случае композитной ленты, когда используется композитная лента, имеющая большую толщину полипропилена, может быть гарантирована большая величина сжатия, и даже когда

45 величина сжатия диаметра сверхпроводящего провода большая, может быть образован слой релаксации напряжений без приложения избыточного растяжения к сверхпроводящему проводу. В противном случае в качестве крафт-бумаги гофрированная крафт-бумага или увлажненная крафт-бумага могут гарантировать большую величину сжатия. Кроме того, слой релаксации напряжений, имеющий толщину, способную

50 поглощать, по меньшей мере, часть величины сжатия диаметра сверхпроводящего провода, может быть образован этими материалами по отдельности или в комбинациях.

[0023] Слой-проводник представляет собой проводящую часть, образованную сверхпроводящим проводом. Например, слой-проводник образуется путем спиральной

намотки сверхпроводящего провода на внешней стороне каркаса в несколько слоев. В качестве конкретного примера сверхпроводящего провода приводится сверхпроводящий провод лентообразной формы, в котором множество отрезков волокон, содержащих оксидный сверхпроводящий материал фазы  $Bi2223$ , расположены в матрице серебряной оболочки или т.п. Сверхпроводящий провод может быть намотан в один слой или в несколько слоев. Кроме того, когда образовано несколько слоев, может быть предусмотрен межслойный изолирующий слой. В качестве межслойного изолирующего слоя указывается межслойный изолирующий слой, обеспечиваемый путем намотки изолирующей бумаги из крафт-бумаги или т.п., или композитной бумаги PPLP (изготавливаемой Sumitomo Denki Kogyo K.K., зарегистрированный товарный знак) или т.п.

[0024] Изолирующий слой образуют из изолирующего материала, имеющего выдерживаемое напряжение изоляции, соответствующее напряжению слоя-проводника. Например, может предпочтительно использоваться по меньшей мере одно из крафт-бумаги, пластической ленты и композитной ленты из крафт-бумаги и пластической ленты.

[0025] Среди соответствующих вышеуказанных материалов структура с образованием изолирующего слоя только из крафт-бумаги имеет наименьшую стоимость. Когда композитная лента и крафт-бумага используются совместно, по сравнению со случаем образования изолирующего слоя только из композитной ленты, количество использованной дорогой композитной ленты может быть снижено, и стоимость кабеля может быть уменьшена.

[0026] В частности, когда используется композитная лента, полученная ламинированием крафт-бумаги и полипропилена, предпочтительно использовать композитную ленту, имеющую отношение к толщине полипропиленовой пленки ко всей толщине композитной ленты в 60% или более. Из-за различия удельных сопротивлений крафт-бумаги и полипропиленовой пленки, составляющих композитную ленту, напряженность электрического поля в значительной степени приходится на пластмассовую пленку, превосходную по характеристикам выдерживаемого напряжения. Следовательно, при увеличении занимаемой в изолирующем слое доли пластмассовой пленки характеристика выдерживаемого напряжения (в частности, характеристика выдерживаемого постоянного напряжения) изолирующего слоя может быть улучшена, а толщина изолирующего слоя может быть уменьшена.

[0027] Кроме того, когда предусматривается указанный ниже внешний слой-проводник, в качестве слоя релаксации напряжений предпочтительно использовать собственно изолирующий слой. Хотя слой релаксации напряжений может быть образован отдельно от изолирующего слоя, при использовании изолирующего слоя как такового в качестве слоя релаксации напряжений для поглощения величины сжатия диаметра внешнего слоя-проводника можно ограничить увеличение внешнего диаметра сверхпроводящего кабеля.

[0028] В ином случае на по меньшей мере одной из внутренней и внешней периферий изолирующего слоя, то есть между слоем-проводником и изолирующим слоем или между изолирующим слоем и экранирующим слоем, может быть сформирован полупроводящий слой. При формировании внутреннего полупроводящего слоя в первом случае и внешнего полупроводящего слоя в последнем случае эффективно стабилизируется электрическая функция.

[0029] Внешний слой-проводник может быть предусмотрен на внешней стороне изолирующего слоя. В частности, в сверхпроводящем кабеле постоянного тока внешний слой-проводник представляет собой конструкцию, необходимую для осуществления передачи электроэнергии однополюсной системы. В то время как в сверхпроводящем кабеле переменного тока требуется экранирующий слой для экранирования магнитного потока, утекающего к внешней периферии слоя-проводника, для того чтобы уменьшить потери переменного тока в сверхпроводящем проводе, в сверхпроводящем кабеле постоянного тока проводник обратной линии должен быть образован внешним слоем-проводником на участке, соответствующем экранирующему слою сверхпроводящего кабеля переменного тока. То есть при обеспечении внешнего слоя-проводника (проводника

обратной линии), содержащего сверхпроводящий провод, на внешней стороне изолирующего слоя слой-проводник может составлять путь прямого тока при однополюсной передаче электроэнергии, а внешний слой-проводник может использоваться в качестве пути тока обратной линии. Внешний слой-проводник необходимо выполнять с конструкцией, 5 имеющей такой же предельно допустимый ток, как и предельно допустимый ток слоя-проводника. Кроме того, сверхпроводящий кабель может быть многожильного типа, содержащего множество жил в теплоизолирующей трубе, и также могут использоваться однополюсная система передачи электроэнергии или двухполюсная система передачи электроэнергии. В последнем случае внешнему слою-проводнику в кабеле по изобретению 10 придается функция нейтрального провода.

[0030] Является предпочтительным, чтобы шаг намотки сверхпроводящего провода, составляющего слой-проводник или внешний слой-проводник, был в 4-6 раз больше диаметра намотки сверхпроводящего провода. Диаметром намотки называется диаметр элемента, обмотанного сверхпроводящим проводом, то есть внутренний диаметр слоя, 15 образованного сверхпроводящим проводом. При ограничении отношения шага намотки к диаметру намотки, как описано выше, можно получать короткий шаг, способный снижать величину сжатия провода, когда сверхпроводящий провод сжимается при охлаждении, и получать шаг намотки, способный также ограничивать количество использованного сверхпроводящего провода.

[0031] В сверхпроводящем кабеле переменного тока для того, чтобы уменьшить потери переменного тока, делая токи соответствующих слоев сверхпроводящего провода, намотанного в несколько слоев, одинаковыми (образование одинаковых токов), регулируют шаг намотки сверхпроводящего провода в соответствующих слоях. Например, короткий шаг через длинный шаг комбинируют в диапазоне, не повреждающем сверхпроводящий провод 20 в ходе намотки сверхпроводящего провода и сгибания жилы. Следовательно, ограничение выбора шага намотки является значительным.

[0032] С другой стороны, в случае сверхпроводящего кабеля постоянного тока нет необходимости принимать во внимание образование одинакового тока, и поэтому ограничение выбора шага намотки не является значительным, шаг намотки может 30 выбираться сравнительно свободно, и все слои могут наматываться с одним и тем же шагом.

[0033] Когда шаг намотки сверхпроводящего провода уменьшается, величина сжатия в диаметре, когда сверхпроводящий провод сжимается при охлаждении, то есть величина, которая должна поглощаться слоем релаксации напряжений, также уменьшается, и 35 поэтому слой релаксации напряжений может быть легко образован. Однако, когда шаг намотки уменьшается, количество использованного сверхпроводящего провода увеличивается, приводя к росту стоимости, и следовательно, важно выбирать шаг намотки, насколько возможно ограничивая увеличение количества использованного сверхпроводящего провода. Следовательно, путем ограничения отношения шага намотки к 40 диаметру намотки, как описано выше, можно получать сверхпроводящий кабель с коротким шагом, способным уменьшать величину сжатия в диаметре, когда сверхпроводящий провод сжимается при охлаждении, и с шагом, также относительно ограничивающим количество использованного сверхпроводящего провода. Особенно предпочтительный шаг намотки сверхпроводящего провода в 5 раз больше диаметра намотки.

[0034] Предпочтительный шаг намотки сверхпроводящего провода можно вычислять следующим образом. Сначала изучается зависимость между отношением "(шаг/диаметр)" 45 шага намотки к диаметру намотки сверхпроводящего провода, составляющего сверхпроводящий слой, и величиной сжатия в диаметре при охлаждении сверхпроводящего провода. Затем исследуется зависимость между "отношением (шаг/диаметр)" и количеством использованного сверхпроводящего провода. Далее 50 выбирается шаг намотки и диаметр намотки сверхпроводящего провода, способные сделать величину сжатия в диаметре сверхпроводящего провода равной или меньшей, чем среднее по модулю значение, и способные сделать количество использованного



сверхпроводящего провода равным или меньшим, чем среднее по модулю значение.

[0035] В ином случае на внешней стороне сверхпроводящего слоя может быть сформирован удерживающий витки слой. При формировании удерживающего витки слоя на внешней стороне сверхпроводящего слоя можно ожидать операцию прикрепления  
5 сверхпроводящего слоя к внутренней стороне. С помощью операции прикрепления сжатие сверхпроводящего слоя в диаметре может протекать гладко. Материал удерживающего витки слоя может быть образован материалом, способным давать заданную силу прикрепления на сверхпроводящего слоя, например, предпочтительно может применяться  
10 металлическая лента, в частности, медная лента или т.п.

[0036] Когда используется удерживающий витки слой, также предпочтительно помещать амортизирующий слой между удерживающим витки слоем и сверхпроводящим слоем. Когда для удерживающего витки слоя используется металлическая лента, обычно также металл серебро или т.п. используется для сверхпроводящего провода, и поэтому  
15 образуется контакт между металлами между удерживающим витки слоем и сверхпроводящим слоем, и существует вероятность повреждения сверхпроводящего провода. Поэтому, когда амортизирующий слой помещают между этими двумя слоями, может быть предотвращено повреждение сверхпроводящего провода путем исключения  
20 прямого контакта металлов. В качестве конкретного материала амортизирующего слоя могут предпочтительно использоваться изолирующая бумага или углеродная бумага.

[0037] Кроме того, предпочтительно предусматривать защитный слой на самой внешней периферии кабельной жилы. Защитному слою придается функция механической защиты  
25 внешнего слоя-проводника и изоляции от теплоизолирующей трубы. В качестве материала защитного слоя могут применяться изолирующая бумага из крафт-бумаги или т.п., или пластмассовая лента.

[0038] С другой стороны, теплоизолирующая труба может быть образована с помощью  
30 любой структуры при условии, что данная структура представляет собой структуру, способную поддерживать тепловую изоляцию хладагента. Например, отмечается расположение теплоизолирующего элемента между сдвоенными трубами двойной структуры, содержащей внешнюю трубу и внутреннюю трубу, и вакуумирование промежутка  
35 между внутренней трубой и внешней трубой. Обычно между внутренней трубой и внешней трубой располагается суперизоляция, полученная ламинированием металлической фольги и пластмассовой сетки. Во внутреннем пространстве внутренней трубы содержится, по меньшей мере, слой-проводник, и его заполняют хладагентом в виде жидкого азота или  
40 т.п. для охлаждения этого слоя-проводника.

[0039] Хладагент может поддерживать сверхпроводящий провод в сверхпроводящем состоянии. В настоящее время наиболее практично использовать в качестве хладагента жидкий азот, однако в ином случае возможно применять жидкий гелий, жидкий водород или  
45 т.п. В частности, в случае жидкого азота может быть образован кабель, составляющий изоляцию с помощью жидкости, в которой не набухает полипропилен, и превосходный по характеристике выдерживаемого напряжения постоянного тока или характеристике  
50 выдерживаемого напряжения  $I_{mp}$ , даже когда изолирующий слой состоит из композитной ленты с высокой величиной  $k$ , то есть имеющей большую толщину полипропилена.

[0040] Данное изобретение применимо к сверхпроводящим кабелям постоянного и переменного тока. В частности, предпочтительно применять данное изобретение к  
45 сверхпроводящему кабелю постоянного тока, в котором ограничение шага намотки сверхпроводящего провода в сверхпроводящем слое является незначительным, как описано выше. Однако даже в случае кабеля переменного тока, например, (1) когда слой-проводник и экранирующий слой образованы соответственно единственными слоями, (2) когда слой-проводник и экранирующий слой образованы несколькими слоями,  
50 необходимость корректировки шага является незначительной, и предпочтение отдается мерам противодействия тепловому сжатию, короткий шаг может быть принят в качестве шага намотки сверхпроводящего провода. Следовательно, даже в случае кабеля переменного тока механизм поглощения теплового сжатия может быть придан самой

кабельной жиле.

*Результаты изобретения*

[0041] Согласно сверхпроводящему кабелю по изобретению могут быть достигнуты следующие результаты.

5 [0042] (1) При обеспечении слоя релаксации напряжений на внутренней стороне сверхпроводящего слоя, когда сверхпроводящий провод сжимается при охлаждении, по меньшей мере часть величины, соответствующей величине сжатия в диаметре сверхпроводящего слоя, соответствующего данному сжатию, может поглощаться слоем релаксации напряжений. Следовательно, может быть исключено функционирование  
10 сверхпроводящего провода при избыточном растяжении и может быть ограничено снижение сверхпроводящей характеристики.

[0043] (2) Механизм поглощения величины теплового сжатия может быть выполнен в самой кабельной жиле при простом строении путем обеспечения слоя релаксации напряжений на внутренней стороне сверхпроводящего слоя. Следовательно, нет  
15 необходимости использовать крупномасштабную конструкцию со скольжением периферической концевой части кабеля или т.п., делая конструкцию способной надежно поглощать величину теплового сжатия сверхпроводящего провода.

[0044] (3) При обеспечении механизма поглощения теплового сжатия в самой кабельной жиле величина сжатия сверхпроводящего провода может поглощаться не только в  
20 многожильном сверхпроводящем кабеле, но также и в одножильном сверхпроводящем кабеле, который считали трудным для обеспечения обычного механизма поглощения.

[0045] (4) При обеспечении слоя релаксации напряжений, поглощающего величину сжатия диаметра внешнего слоя-проводника посредством изолирующего слоя как такового, нет необходимости заново формировать слой релаксации напряжений для внешнего слоя-  
25 проводника, и увеличение диаметра кабеля может сдерживаться.

[0046] (5) При обеспечении шага намотки сверхпроводящего провода, в 4-6 раз большего, чем диаметр намотки, может быть образован сверхпроводящий кабель, способный поглощать величину сжатия сверхпроводящего провода при простом строении, а также способный уменьшать количество использованного сверхпроводящего провода  
30 насколько возможно.

[0047] (6) При обеспечении удерживающего витки слоя на внешней стороне сверхпроводящего слоя величина сжатия в диаметре может плавно поглощаться слоем релаксации напряжений путем прижима сверхпроводящего слоя к внутренней периферийной стороне, что делает плавным протекание сжатия в диаметре в соответствии  
35 с тепловым сжатием сверхпроводящего провода.

**Краткое описание чертежей**

[0048] [Фиг.1] Фиг.1 представляет собой вид в сечении сверхпроводящего кабеля согласно изобретению.

[Фиг.2] Фиг.2 представляет собой график, показывающий зависимость между  
40 "отношением (шаг/диаметр)" и величиной сжатия в диаметре при охлаждении сверхпроводящего провода.

[Фиг.3] Фиг.3 представляет собой график, показывающий зависимость между "отношением (шаг/диаметр)" и количеством использованного сверхпроводящего провода.

[Фиг.4] Фиг.4 представляет собой вид в сечении обычного сверхпроводящего кабеля  
45 согласно уровню техники.

**Описание ссылочных позиций и обозначений**

[0049] 100 сверхпроводящий кабель постоянного тока

10 жила, 11 каркас, 12 слой релаксации напряжений внутренней стороны, 13 слой-проводник, 14А, 14В амортизирующие слои, 15А, 15В удерживающие витки слои, 16  
50 изолирующий слой/внешний слой релаксации напряжений, 16А изолирующий слой, 17 проводник обратной линии, 17А экранирующий слой, 18 защитный слой, 20 теплоизолирующая труба, 21 внутренняя труба, 22 внешняя труба, 23 устойчивый к коррозии слой

**Лучший вариант осуществления изобретения**

[0050] Вариант воплощения изобретения будет пояснен следующим образом.

[0051] (Вариант 1)

[Вся структура]

5 Как показано на фиг.1, сверхпроводящий кабель 100 постоянного тока согласно изобретению состоит из единственной кабельной жилы 10 и теплоизолирующей трубы 20, содержащей эту жилу 10.

[0052] [Жила]

10 Жила 10 последовательно от своего центра включает в себя каркас 11, слой 12 релаксации напряжений внутренней стороны, слой-проводник 13, амортизирующий слой 14А, удерживающий витки слой 15А, изолирующий слой (также внешний слой релаксации напряжений) 16, внешний слой-проводник (проводник 17 обратной линии), амортизирующий слой 14В, удерживающий витки слой 15В и защитный слой 18.

[0053] <Каркас>

15 Для выполнения каркаса 11 используется гофрированная трубка из нержавеющей стали. Когда применяется полый каркас 11, его внутренность может представлять собой канал для протекания хладагента (в данном случае жидкого азота).

[0054] <Слой релаксации напряжений внутренней стороны>

20 Слой 12 релаксации напряжений внутренней стороны сформирован путем намотки на каркас 11 композитной ленты PPLP (зарегистрированный товарный знак), изготавливаемой Sumitomo Denki Kogyo K.K., образованной путем ламинирования крафт-бумаги и полипропиленовой пленки. В данном случае выбираются материал и его толщина, способные поглощать величину сжатия в диаметре при охлаждении указанного ниже слоя-проводника 13. Более конкретно, используется PPLP с отношением к толщине полипропиленовой пленки к толщине всей композитной ленты, равным 60%.

25 [0055] <Слой-проводник>

Для выполнения слоя-проводника 13 используется ленточный провод с фазой Bi2223 в оболочке из Ag-Mn, имеющий толщину 0,24 мм и ширину 3,8 мм. Слой-проводник 13 образуется путем намотки такого ленточного провода на слой 12 релаксации напряжений

30 внутренней стороны в несколько слоев. В данном случае сверхпроводящий провод намотан на него в 4 слоя.

[0056] <Амортизирующий слой и удерживающий витки слой>

Амортизирующий слой 14А сформирован на слое-проводнике 13, а затем на нем сформирован удерживающий витки слой 15А. Амортизирующий слой 14А образуется путем

35 намотки нескольких слоев крафт-бумаги на слой-проводник, а удерживающий витки слой 15А образуется путем намотки медной ленты. Амортизирующий слой 14А предотвращает контакт между металлами слоя-проводника и удерживающего витки слоя 15А, а удерживающий витки слой 15А делает плавным протекание сжатия в диаметре слоя-проводника 13 при охлаждении путем прикрепления слоя-проводника 13 к внутренней

40 периферийной стороне посредством амортизирующего слоя 14А.

[0057] <Изолирующий слой/внешний слой релаксации напряжений>

Изолирующий слой 16 сформирован на удерживающем витки слое 15А. В данном случае изолирующий слой 16 образован PPLP с величиной k, равной 60%. Изолирующему слою 16

45 придана функция электрической изоляции слоя-проводника 13, а также придана функция внешнего слоя релаксации напряжений для поглощения величины сжатия в диаметре в соответствии с охлаждением указанного ниже внешнего слоя-проводника. При образовании внешнего слоя релаксации напряжений самим изолирующим слоем 16 нет необходимости отдельно формировать внешний слой релаксации напряжений, и поэтому может быть ограничено увеличение внешнего диаметра кабельной жилы.

50 [0058] Кроме того, хотя это не показано, внутренняя периферийная сторона изолирующего слоя сформирована с внутренним полупроводящим слоем, а его внешняя периферийная сторона сформирована с внешним полупроводящим слоем. Любой из этих полупроводящих слоев образуется путем намотки углеродной бумаги.

[0059] <Внешний слой-проводник (проводник обратной линии)>

Внешний слой-проводник (проводник 17 обратной линии) предусмотрен на внешней стороне изолирующего слоя 16. В случае постоянного тока требуется путь для

возвратного тока, и поэтому при однополюсной передаче электроэнергии предусматривается проводник 17 обратной линии, используемый в качестве пути для обратного тока. Проводник 17 обратной линии образуется из сверхпроводящего провода подобно слою-проводнику 13 и обладает пропускной способностью при электропередаче, подобной пропускной способности слоя-проводника 13.

[0060] <Амортизирующий слой и удерживающий витки слой>

Затем на внешнем слое-проводнике сформирован амортизирующий слой 14В, а далее на нем сформирован удерживающий витки слой 15В. Амортизирующий слой 14В и удерживающий витки слой 15В образуются из материалов, аналогичных материалам амортизирующего слоя 14А и удерживающего витки слоя 15А, предусмотренных на внешней стороне слоя-проводника 13. Амортизирующий слой 14В предотвращает контакт между металлами проводника 17 обратной линии и удерживающего витки слоя 15В и делает плавным протекание сжатия в диаметре проводника 17 обратной линии посредством прикрепления проводника 17 обратной линии к внутренней периферийной стороне посредством амортизирующего слоя 14В.

[0061] <Защитный слой>

Внешняя сторона проводника 17 обратной линии снабжена защитным слоем 18, образованным из изолирующего материала. В данном случае защитный слой 18 образован путем намотки крафт-бумаги. Посредством защитного слоя 18 проводник 17 обратной линии может быть защищен механически, теплоизолирующая труба (внутренняя труба 21) может быть изолирована, и может быть предотвращено шунтирование обратного тока на теплоизолирующую трубу 20.

[0062] <Теплоизолирующая труба>

Теплоизолирующая труба 20 содержит сдвоенные трубы, включая внутреннюю трубу 21 и внешнюю трубу 22, и между этими внутренней и внешней трубами 21, 22 образован вакуумный теплоизолирующий слой. Внутри вакуумного теплоизолирующего слоя расположена так называемая суперизоляция, образованная ламинированием пластмассовой сетки и металлической фольги. Пространство, образованное между внутренней стороной внутренней трубы 21 и жилой 10, представляет собой канал для протекания хладагента. Кроме того, устойчивый к коррозии слой 23 может быть сформирован на внешней периферии теплоизолирующей трубы 20 с помощью поливинилхлорида или т.п. по мере необходимости.

[0063] (Пример пробного вычисления)

Затем при изготовлении сверхпроводящего кабеля осуществляют следующее пробное вычисление с тем, чтобы можно было сделать количество использованного сверхпроводящего провода как можно меньшим, при этом имея в виду формирование короткого шага сверхпроводящего провода с тем, чтобы можно было сделать как можно меньшей величину сжатия в диаметре.

[0064] Сначала изучается зависимость между отношением шага намотки и диаметра намотки сверхпроводящего провода, составляющего сверхпроводящий слой, "отношением (шаг/диаметр)", и величиной сжатия диаметра сверхпроводящего провода. В данном случае диаметр намотки образуется 3 путями: 20 мм  $\varnothing$ , 30 мм  $\varnothing$ , 40 мм  $\varnothing$ , и величина сжатия диаметра, когда сверхпроводящий провод сжимается на 0,3% при охлаждении во время работы, пробно вычисляется с использованием коэффициентов линейного расширения соответствующих материалов. Результат вычисления показан на графике фиг.2.

[0065] Как показано на этом графике, когда "отношение (шаг/диаметр)" остается одинаковым, известно, что чем больше диаметр намотки, тем меньше величина сжатия диаметра. Кроме того, также известно, что, когда диаметр намотки остается одинаковым, чем меньше "отношение (шаг/диаметр)", тем меньше величина сжатия диаметра. Из

результата видно, что величина сжатия диаметра, которую надо поглощать, меньше, когда выбирается короткий шаг.

[0066] Затем исследовали зависимость между "отношением (шаг/диаметр)" и количеством использованного сверхпроводящего провода. В данном случае количество использованного сверхпроводящего провода, когда сверхпроводящий провод располагается вдоль продольного направления обматываемого объекта, то есть когда сверхпроводящий провод располагается продольно в линию, составляет 1,0, и показано, как количество использованного сверхпроводящего провода меняется, когда "отношение (шаг/диаметр)" изменяется по относительной величине. Результат этого показан на графике фиг.3.

[0067] Как показано на графике, видно, что, хотя количество использованного сверхпроводящего провода не очень сильно увеличивается вплоть до "отношения (шаг/диаметр)" в примерно 6,0, количество использованного сверхпроводящего провода быстро увеличивается, когда это отношение становится меньше, чем 4,0.

[0068] Из этих двух результатов пробного вычисления ясно, что "отношение (шаг/диаметр)" может быть сделано составляющим примерно от 4,0 до 6,0, когда величина сжатия сверхпроводящего провода при охлаждении доведена до легко поглощаемого уровня, а также сделано небольшим количество использованного сверхпроводящего провода.

[0069] В Таблице 1 суммированы составляющие материалы и размеры соответствующих частей сверхпроводящего кабеля (50 кВ, 10000 А) согласно изобретению, сконструированного на основе результата пробного вычисления. Кроме того, шаги намотки сверхпроводящих проводов слоя-проводника и внешнего слоя-проводника в 5 раз больше диаметров намотки. А именно шаги составляют 210 мм в слое-проводнике и примерно 274 мм во внешнем слое-проводнике.

[0070]

		[Таблица 1]
составляющий элемент	материал	внешний диаметр (мм) и др.
каркас	гофрированная трубка из нержавеющей стали	30
слой релаксации напряжений внутренней стороны	PPLP	42 (толщина: 6 мм)
слой-проводник	сверхпроводящий провод с фазой Bi2223	46,4 (4 слоя)
амортизирующий слой/удерживающий витки слой	крафт-бумага/медная лента	47,4
изолирующий слой/слой релаксации напряжений внешней стороны	PPLP	54,7 (толщина: 3 мм)
внешний слой-проводник	сверхпроводящий провод с фазой Bi2223	57,5 (3 слоя)
амортизирующий слой/удерживающий витки слой	крафт-бумага/медная лента	59,5
защитный слой	крафт-бумага	61,7 (толщина 1 мм)
внешний диаметр кабеля		116

[0071] В конструкции согласно таблице 1 при охлаждении сжимается также диаметр каркаса как такового. Когда ей придан коэффициент сжатия, составляющий 0,3%, величина сжатия диаметра каркаса становится равной 0,09 мм. С другой стороны, величина сжатия диаметра сверхпроводящего провода при коэффициенте сжатия 0,3% равна 0,45 мм в условиях диаметра намотки 42 мм и шага намотки 210 мм. Следовательно, видно, что только 20% величины сжатия диаметра слоя-проводника может поглощаться величиной сжатия диаметра каркаса. Следовательно, видно, что, когда величина сжатия диаметра слоя релаксации напряжений внутренней стороны равна 0,36 мм, 100% величины сжатия диаметра слоя-проводника может поглощаться общей величиной сжатия диаметра каркаса и слоя релаксации напряжений внутренней стороны. Кроме того, видно, что, когда слой релаксации напряжений внутренней стороны имеет величину сжатия диаметра 0,45 мм, полная величина сжатия диаметра слоя-проводника может поглощаться только слоем релаксации напряжений внутренней стороны.

[0072] Хотя объяснение дано подробно и со ссылкой на конкретный вариант воплощения, специалисту в данной области очевидно, что изобретение может быть изменено или модифицировано без отклонения от сущности и объема изобретения.

Кроме того, данная заявка основывается на заявке на патент Японии (заявка на патент

Японии № 2004-350327), поданной 2 декабря 2004, и ее содержание включено сюда посредством ссылки.

### **Промышленная применимость**

5 [0073] Сверхпроводящий кабель согласно изобретению может быть применен в качестве средства передачи электроэнергии. В частности, сверхпроводящий кабель согласно изобретению может быть предпочтительно применен в качестве одножильного средства передачи электроэнергии постоянного тока.

### **Формула изобретения**

10 1. Сверхпроводящий кабель, содержащий сверхпроводящий провод, составляющий сверхпроводящий слой посредством спиральной намотки; и слой релаксации напряжений, предусмотренный в кабельной жиле на внутренней стороне сверхпроводящего слоя, при этом величина сжатия в направлении диаметра сверхпроводящего слоя в соответствии с охлаждением сверхпроводящего провода хладагентом поглощается слоем релаксации  
15 напряжений.

2. Сверхпроводящий кабель по п.1, дополнительно содержащий составляющий кабель элемент, предусмотренный на внутренней стороне слоя релаксации напряжений, при этом величина сжатия в направлении диаметра сверхпроводящего слоя в соответствии с охлаждением сверхпроводящего провода  
20 хладагентом поглощается слоем релаксации напряжений и составляющим кабель элементом.

3. Сверхпроводящий кабель по п.1, в котором сверхпроводящий слой включает в себя слой-проводник, а слой релаксации напряжений включает в себя слой релаксации напряжений внутренней стороны, сформированный на внутренней стороне слоя-  
25 проводника.

4. Сверхпроводящий кабель по п.3, в котором при слое релаксации напряжений используется изолирующий слой, предусмотренный на внешней стороне слоя-проводника, в качестве слоя релаксации напряжений внешней стороны, и сверхпроводящий слой включает в себя внешний слой-проводник, сформированный на внешней стороне  
30 изолирующего слоя.

5. Сверхпроводящий кабель по п.1, в котором шаг намотки сверхпроводящего провода в 4-6 раз больше диаметра намотки сверхпроводящего провода.

6. Сверхпроводящий кабель по п.1, в котором составляющий кабель элемент включает в себя каркас, и этот каркас представляет собой либо гофрированную трубку, либо  
35 спиральный лентообразный элемент.

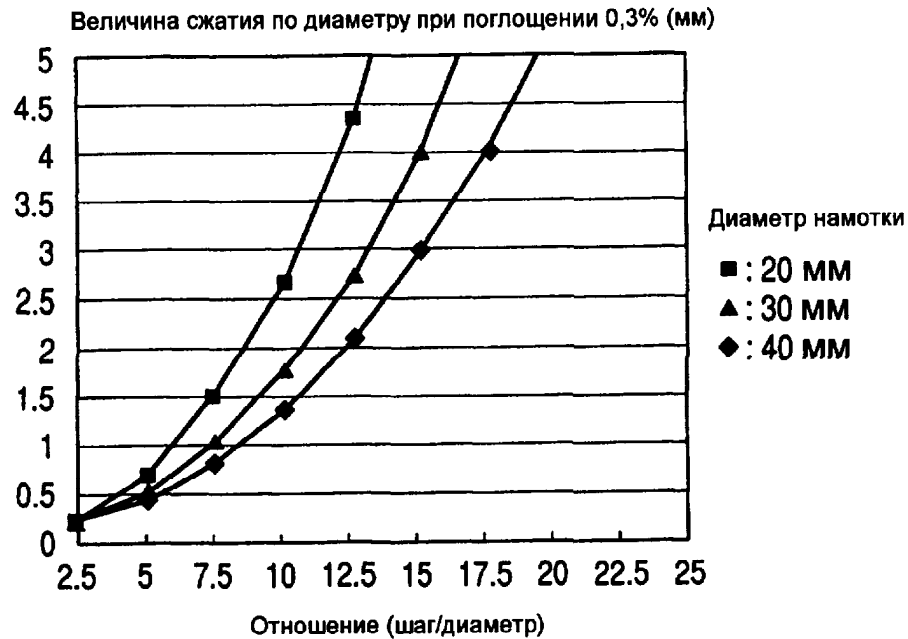
7. Сверхпроводящий кабель по п.1, в котором слой релаксации напряжений образован по меньшей мере одним из крафт-бумаги, пластмассовой ленты и композитной ленты из крафт-бумаги и пластмассовой ленты.

8. Сверхпроводящий кабель по п.1, дополнительно содержащий удерживающий витки  
40 слой на внешней стороне сверхпроводящего слоя.

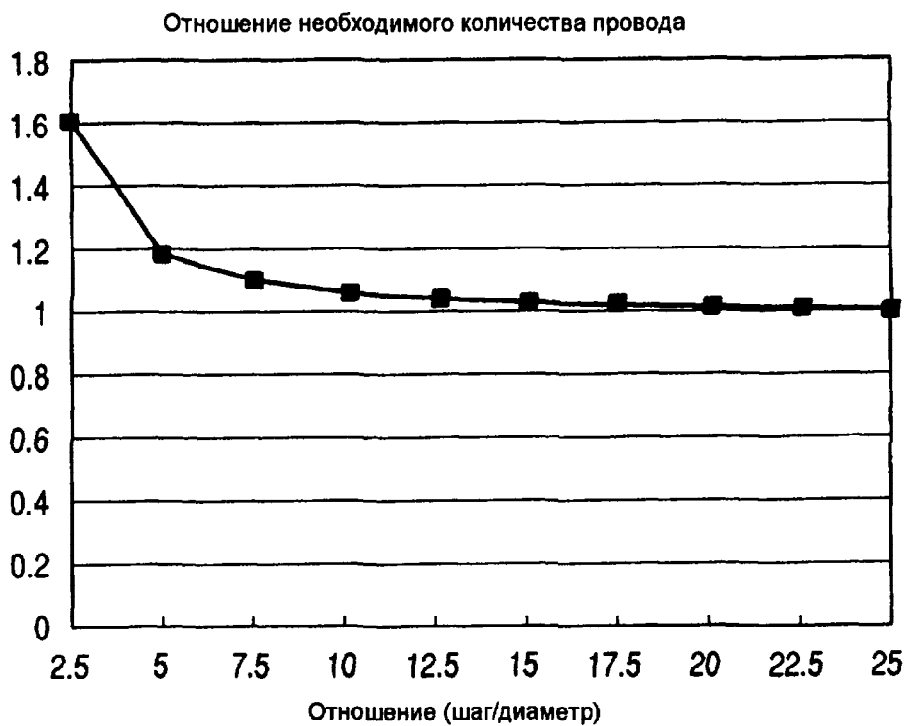
9. Сверхпроводящий кабель по любому из пп.1-8, причем этот сверхпроводящий кабель представляет собой сверхпроводящий кабель постоянного тока.

45

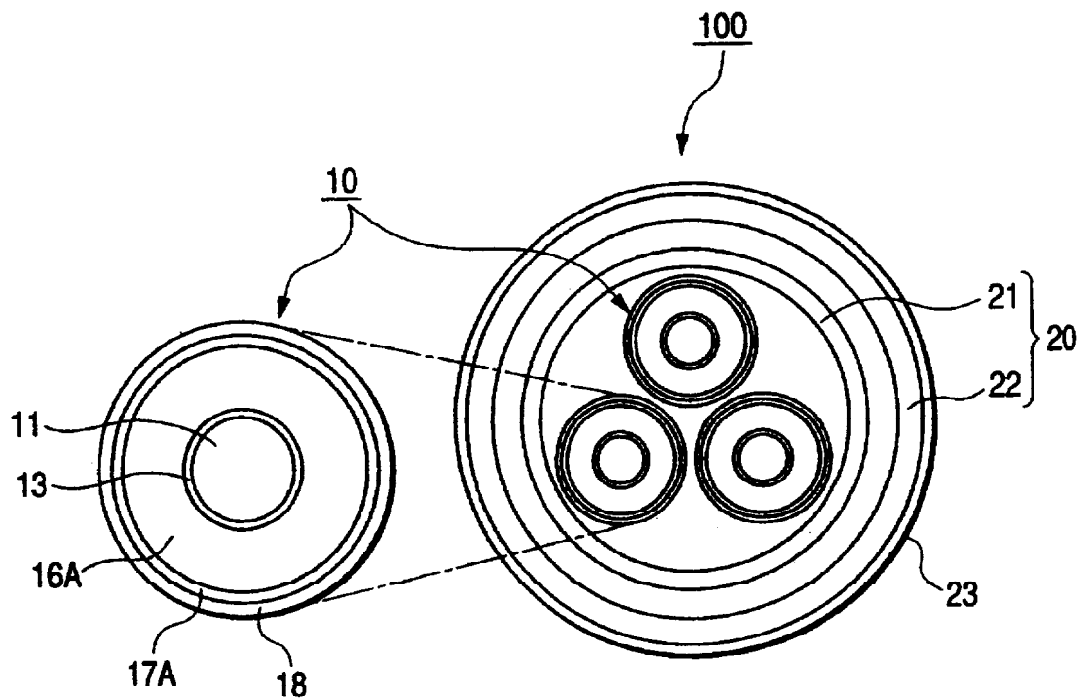
50



**ФИГ.2**



**ФИГ.3**



ФИГ.4