



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014152637/07, 25.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.12.2014

(45) Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 20040069526 A1, 15.04.2004. US 5801124 A, 01.09.1998. RU 2491674 C2, 27.08.2013. RU 2273906 C1, 10.04.2006. RU 2397589 C2, 10.04.2006. US 4623862 A, 18.11.1986. US 5104849 A, 14.04.1992.

Адрес для переписки:

117246, Москва, Научный пр-д, 20, стр. 2, ЗАО "СуперОкс", Ген. директору С.В. Самойленкову

(72) Автор(ы):

Калитка Владислав Сергеевич (RU),  
Самойленков Сергей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

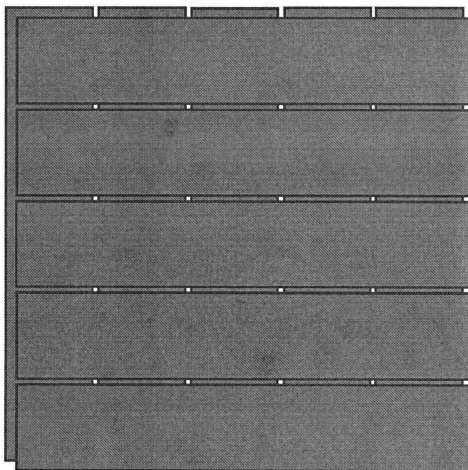
Закрытое акционерное общество "СуперОкс"  
(ЗАО "СуперОкс") (RU)**(54) МНОГОСЛОЙНЫЙ БЛОК ИЗ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ЛЕНТ И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, к многослойным магнитным блокам из высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения и может быть использовано при промышленном производстве устройств для магнитной левитации, экранов магнитного поля, постоянных магнитов захваченного магнитного потока и компонентов роторов электрических машин и т.д. Технический результат состоит в повышении производительности, прочности, обеспечении возможности получения изделий любых форм и размеров. Сверхпроводящий многослойный блок включает пакет из сверхпроводящих листов, установленных один на другой и механически связанных друг с другом,

где каждый лист выполнен из отрезков высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения, уложенных в ряд и механически связанных друг с другом по длинным сторонам. Ленты в каждом последующем листе размещены так, что продольные оси лент последующего листа расположены параллельно осям лент предыдущего листа и смещены относительно упомянутых осей лент предыдущего листа в поперечном направлении или продольные оси лент последующего листа расположены под углом к осям лент предыдущего листа. 2 н. и 12 з.п. ф-лы, 8 ил.

Укладка двух листов с ориентацией  
продольных осей лент под углом



Фиг.2

RU 2 5 7 9 4 5 7 C 1

RU 2 5 7 9 4 5 7 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 579 457**<sup>(13)</sup> **C1**

(51) Int. Cl.  
*H01B 12/00* (2006.01)  
*H01F 6/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014152637/07, 25.12.2014**

(24) Effective date for property rights:  
**25.12.2014**

Priority:

(22) Date of filing: **25.12.2014**

(45) Date of publication: **10.04.2016** Bull. № 10

Mail address:

**117246, Moskva, Nauchnyj pr-d, 20, str. 2, ZAO "SuperOks", Gen. direktoru S.V. Samoilenkovu**

(72) Inventor(s):

**Kalitka Vladislav Sergeevich (RU),  
Samojlenkov Sergej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo "SuperOks"  
(ZAO "SuperOks") (RU)**

(54) **MULTILAYER UNIT OF SUPERCONDUCTIVE TAPES AND PREPARATION METHOD THEREOF**

(57) Abstract:

FIELD: electronic equipment.

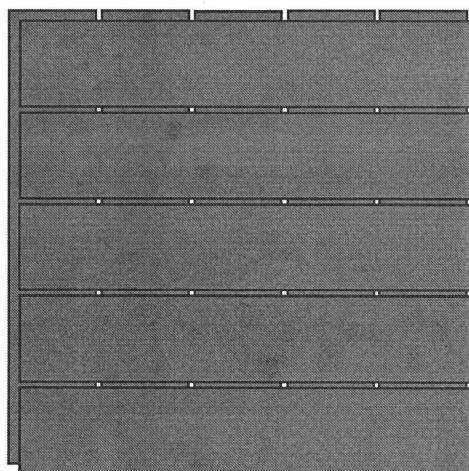
SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering, to multilayer magnetic units of high-temperature superconductive tapes of second generation and can be used in industrial production of devices for magnetic levitation, screens of magnetic field, permanent magnets of captured magnetic flux and components of rotors of electric machines, etc. Superconducting multilayer unit includes pack of superconducting sheets arranged one onto another and mechanically connected to each other, where each sheet is made from pieces of high-temperature superconductive strips of second generation laid in row and mechanically connected to each other along long sides. Strips in each next sheet are arranged so that longitudinal axis of strips of next sheet are parallel to axes of strips of previous plate and shifted relative to said strips axes of previous sheet in transverse direction or longitudinal axes of strips of next sheet are located at angle to axes of strips of previous sheet.

EFFECT: technical result consists in improvement

of efficiency, strength, obtaining products of any shapes and sizes.

14 cl, 8 dwg

**Укладка двух листов с ориентацией  
продольных осей лент под углом**



Фиг.2

**RU 2 579 457 C1**

**RU 2 579 457 C1**

Область техники.

Изобретение относится к области высокотемпературных сверхпроводящих материалов и технологии их получения, в частности к многослойным магнитным блокам из высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения (ВТСП 2-го поколения), и может быть использовано при промышленном производстве устройств для магнитной левитации (транспортные системы, конвейеры, магнитные подшипники), экранов магнитного поля, постоянных магнитов захваченного магнитного потока и компонентов роторов электрических машин и т.д.

Предшествующий уровень техники.

В качестве первых сверхпроводящих магнитных блоков для применения в промышленности использовались материалы на основе керамики.

Так, в документе JPH 01173795 (A) раскрывается материал для магнитных экранов, в котором спеченный слой и стабилизирующий слой формируют керамический сверхпроводник на одной или обеих сторонах гибкого керамического листа.

Для этого мелкий порошок  $YBa_2Cu_3O_x$ , полученный с помощью метода твердофазной реакции, наносят на одну или обе стороны из тканого материала, образованного из Si-Ti-C-O керамического волокна путем плазменного напыления. Далее, ткань нагревают и спекают при  $1000^\circ\text{C}$ . Затем на поверхность наносят стабилизирующий слой на основе серебра.

Таким образом, получают экранирующий защитный материал, который имеет критическую температуру 85 К.

Следующая попытка сделать магнит на основе керамических сверхпроводников раскрыта в заявке на изобретение US 200400069526, которое является ближайшим аналогом заявленного изобретения.

В соответствии с данным техническим решением сначала изготавливают сверхпроводящие ленты, включающие керамический порошок, например, на основе оксидов висмута, стронция, кальция и меди, заключенный в оболочку из серебра или его сплава. Керамику в оболочке прокатывают с образованием лент. Ленты укладывают параллельно друг другу кромка к кромке, а потом уложенные таким образом ряды лент штабелируют с образованием субблоков. Субблоки посредством мостиков из серебра собирают в блоки. При этом ширина каждой ленты не превышает половину ширины данного композитного сверхпроводящего блока, что обеспечивает отсутствие в стыке между субблоками сверхпроводящего материала. Ленты в пакете подвергают диффузионной сварке путем нагрева блоков при температуре около  $840^\circ\text{C}$ .

Целью создания такого материала является снижение потерь на переменном токе и повышение прочности проводника.

Авторы US 2004/0069526 A1 акцентируют внимание на том, что ленты в субблоках размещаются строго одна над другой, а между соседними субблоками имеется зазор, в котором отсутствует сверхпроводящий материал.

Такой материал характеризуется повышенными значениями критического тока из-за отсутствия магнитной связи между субблоками.

Однако отсутствие магнитной связи между субблоками значительно уменьшает захват магнитного поля со всеми вытекающими отсюда последствиями. В частности, крайне низкая производительность магнитных блоков. Кроме того, такая конфигурация материала не является прочной и не сможет обеспечить получение изделий любых форм.

Раскрытие изобретения.

Задачей изобретения является повышение производительности магнитных блоков,

особенно в высоких магнитных полях, и их прочности, простота масштабирования блоков и возможности получения изделий любых форм и размеров.

Поставленная задача решается сверхпроводящим многослойным блоком, который включает пакет из сверхпроводящих листов, установленных один на другой и механически связанных друг с другом, где каждый лист выполнен из отрезков высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения, уложенных в ряд и механически связанных друг с другом по длинным сторонам, причем ленты в каждом последующем листе размещены так, что продольные оси лент последующего листа расположены параллельно осям лент предыдущего листа и смещены относительно упомянутых осей лент предыдущего листа в поперечном направлении или продольные оси лент последующего листа расположены под углом к осям лент предыдущего листа.

В частных воплощениях изобретения блок характеризуется тем, что между собой листы и ленты в листах механически связаны посредством пайки.

В этом случае высокотемпературная сверхпроводящая лента может дополнительно содержать слой припоя.

Как правило, высокотемпературная сверхпроводящая лента второго поколения включают последовательно расположенные подложку, по меньшей мере, с одним буферным слоем, последующий сверхпроводящий слой и защитный слой, выполненный из серебра и/или меди.

Каждые два листа из упомянутых сверхпроводящих лент могут быть механически связаны друг с другом по сверхпроводящим слоям в пластины, а упомянутые пластины связаны друг с другом по подложкам с образованием блока

В другом воплощении изобретения все листы из упомянутых сверхпроводящих лент в блоке могут быть расположены с одинаковой ориентацией сверхпроводящего слоя.

Блок может дополнительно содержать защитную оболочку, выполненную из листового металла или сплава.

Поставленная задача также решается способом изготовления сверхпроводящего многослойного блока, в соответствии с которым он включает следующие стадии:

(А) получение листов путем укладки сверхпроводящих высокотемпературных лент второго поколения в ряд и последующего термического воздействия на упомянутые ленты для создания механической связи лент по их длинным сторонам;

(В) формирование блока путем укладки листов в пакет таким образом, что продольные оси лент последующего листа располагают параллельно продольным осям лент предыдущего листа, но со сдвигом в направлении, перпендикулярном продольным осям лент, или продольные оси лент последующего листа располагают под углом к продольным осям лент предыдущего листа;

(С) последующее термическое воздействие на листы для создания механической связи листов друг с другом.

В частных воплощениях изобретения поставленная задача решается тем, что термическое воздействие на упомянутые сверхпроводящие ленты на стадии А и на упомянутые сверхпроводящие листы на стадии С осуществляют путем пайки.

При этом перед стадией А на упомянутые ленты наносят припой.

В качестве сверхпроводящих лент второго поколения могут быть использованы ленты, включающие подложку, по меньшей мере, с одним буферным слоем, последующий сверхпроводящий слой и защитный слой, выполненный из серебра и/или меди.

В этом случае на стадии В два листа укладывают сверхпроводящим слоем навстречу друг другу и осуществляют термическое воздействие по этим слоям с получением

пластин, а пластины приводят в контакт друг с другом по подложкам с последующим соединением друг с другом в блоки путем термического воздействия на поверхности контакта упомянутых пластин.

5 В частных воплощениях изобретения после стадии С блок защищают от механических повреждений оболочкой, выполненной из листового металла или сплава.

Возможно соединение оболочки с блоком путем пайки.

Краткое описание графических изображений.

Фиг. 1 - схема укладки листов с параллельной ориентацией продольных осей лент.

10 Фиг. 2 - схема укладки листов с ориентацией продольных осей лент под прямым углом друг к другу.

Фиг. 3 - схема укладки листов с ориентацией продольных осей лент под произвольным углом друг к другу.

15 Фиг. 4 - схема расположения слоев в высокотемпературной сверхпроводящей ленте второго поколения, схема расположения слоев в высокотемпературной сверхпроводящей ленте и схемы соединения листов в пластине.

Фиг. - 5 схема укладки пластин в пакеты.

Фиг. - 6 график зависимости левитационной силы изотропного блока от расстояния до магнитной сборки.

20 Фиг. - 7 график зависимости левитационной силы анизотропного блока от расстояния до магнитной сборки.

Фиг. - 8 график зависимости величины магнитного поля от расстояния до магнита.

Сущность изобретения состоит в следующем.

25 В заявляемом сверхпроводящем блоке, во-первых, используются ВТСП ленты 2-го поколения, во-вторых, ленты располагаются не в стопках, как в известном изобретении, а каждый следующий слой сверхпроводника перекрывает зазоры между лент предыдущего слоя. Смысл изобретения состоит в том, чтобы не осталось зазоров, не перекрытых сверхпроводящим материалом, этим самым обеспечивается максимальный захват магнитного потока.

Изобретение осуществляется следующим образом.

30 Сверхпроводящий многослойный блок представляет собой пакет из сверхпроводящих листов, установленных один на другой и механически связанных друг с другом.

Каждый лист выполнен из отрезков ВТСП 2-го поколения, уложенных в ряд и механически связанных друг с другом по длинным сторонам.

35 Ленты в каждом последующем листе могут быть размещены так, что продольные оси лент последующего листа расположены параллельно осям лент предыдущего листа и смещены относительно осей лент предыдущего листа в поперечном направлении (см. фиг. 1).

40 Ленты могут быть расположены так, как это изображено на фиг. 2, т.е. продольные оси лент последующего листа расположены под углом к осям лент предыдущего листа. Этот угол может быть в некоторых воплощениях прямым (фиг. 2) или не прямым (фиг. 3).

Между собой листы и ленты в листах механически связаны, например посредством пайки.

45 Для этого ВТСП лента 2-го поколения может содержать слой припоя (в наиболее желательном воплощении). В других воплощениях изобретения припой может быть нанесен на ленту в процессе пайки.

Формирование блока возможно из любых ВТСП лент 2-го поколения.

ВТСП лента второго поколения включает подложку с буферным слоем, последующий

сверхпроводящий слой и защитный слой, выполненный из серебра и/или меди (фиг. 4, схема 4-1).

С учетом расположения слоев и подложки в ВТСП ленте 2-го поколения каждые два листа из ВТСП лент могут быть механически связаны друг с другом по сверхпроводящим слоям в пластины, а упомянутые пластины связаны друг с другом по подложкам с образованием блока (фиг. 4, схема 4-2).

По другому воплощению изобретения все листы из ВТСП лент 2-го поколения в блоке могут быть расположены с одинаковой ориентацией сверхпроводящего слоя (фиг. 4, схема 4-3).

Блок может содержать защитную оболочку, выполненную из листового металла или сплава.

Блок получали следующим образом.

Формирование блока возможно из любых лент ВТСП 2-го поколения с медным/серебряным покрытием (или уже покрытых припоем).

Для получения блока с наилучшими характеристиками (в зависимости от области применения: большая сила левитации, большая величина захваченного магнитного потока или возможность экранировать большие магнитные поля) следует подбирать ленты по следующим параметрам:

высокий критический ток в жидком азоте в отсутствие внешнего магнитного поля (желательно: не менее 500 А/12 мм ширины);  
 наименьшее понижение тока во внешнем магнитном поле (желательно: в поле 1 Тл в жидком азоте сохраняется 15% от критического тока в нулевом поле);  
 малая толщина подложки ленты (желательно: не более 60 микрон);  
 малая толщина слоя меди и/или серебра (желательно: не более 5 микрон);  
 максимально возможная ширина (желательно: не менее 12 мм);  
 устойчивость к высоким магнитным полям при низких температурах (желательно: при температуре 5 К в поле 12 Тл критический ток не меньше чем при 77 К в отсутствие внешнего поля).

Порядок укладки лент в блок.

Блок представляет собой листы из лент, уложенные в несколько слоев.

Базовым элементом при укладке блока является пластина из двух листов лент (см. фиг. 5).

В такой единичной пластине ленты в нижнем слое укладываются стороной со сверхпроводником вверх, а стороной подложки вниз. Следующий слой укладывается наоборот, сверхпроводящей стороной вниз, а стороной подложки вверх (см. фиг. 4, схема 4-2). Таким образом, ленты в этих двух слоях «смотрят» сверхпроводящей стороной друг на друга, и между соединенными сверхпроводниками получается организовать низкоомный контакт (сопротивления контакта  $\leq 100$  нОм/см<sup>2</sup>). Благодаря этому контакту ток может перетекать между лентами, и система может действовать как монолитный сверхпроводник при отклике на кратковременные динамические нагрузки.

По другому воплощению все листы укладывают с одинаковой ориентацией сверхпроводящего слоя (фиг. 4, схема 4-3). Соответственно, соединение проходит между сверхпроводящим слоем первого листа и подложкой второго. Такие блоки удобнее использовать для импульсного намагничивания, когда кратковременный динамический отклик только осложняет намагничивание.

В каждом из двух листов ленты могут укладывать в одном направлении, однако второй лист сдвигают в поперечном направлении относительно первого на 0,5 ширины

ленты, чтобы обеспечить перехлест лент в разных слоях.

Эти два листа образуют пластину.

Такие единичные пластины укладываются в блок все в одном направлении, если блок предназначается для магнитной левитации вдоль линейного рельса (см. фиг. 5, схема 5-1), т.к. ввиду анизотропии магнитного поля сила левитации оказывается разной для продольной и поперечной ориентации лент относительно направления движения, и таким анизотропным блоком возможно добиться максимальной левитационной силы.

Если блок предполагается использовать, в том числе, и для другого применения, то каждая следующая пластина укладывается с поворотом относительно предыдущей, чтобы продольные оси лент в каждом последующем листе были расположены под углом к осям лент предшествующего листа. В этом случае блок получается максимально изотропным. Такие блоки нужны, в частности, для применения в магнитных экранах, магнитах захваченного магнитного потока и в других применениях, где нет заранее известной анизотропии магнитного поля.

Способ скрепления лент между собой.

Ленты в листе могут быть механически связаны друг с другом путем термического воздействия. Это, например, такие процессы, как пайка, лужение, различные виды сварки, термодиффузионная обработка и пр.

Но наиболее простой и эффективный способ, поддающийся автоматизации, это пайка.

Перед нарезкой и укладкой лент в листы их покрывают припоем.

Для этого процесса подходят бытовые свинцово-оловянные припои ПОС60, ПОС61, ПОС63, легкоплавкие припои, такие как ПОИН52 и сплав Розе.

Требованиями к припою являются низкая температура плавления (ниже 200 градусов Цельсия) и пригодность для пайки медных (серебряных) деталей. Для пайки подходят такие флюсы, как сосновая канифоль, ЛТИ120, цинк хлористый, глицерин-гидразиновый.

Для формирования блока сначала из лент спаивают листы, из листов - двухслойные пластины. Для этого предварительно луженную ленту нарезают на отрезки, длина которых равна длине одной из сторон блока плюс несколько миллиметров. Ленты перед укладкой обрабатывают флюсом (например, спиртовым раствором канифоли). При укладке каждую последующую ленту прикрепляют к предыдущим в нескольких точках с помощью паяльника. После того как ленты уложены и зафиксированы, их зажимают между двух плоских дюралюминиевых пластин, размером, превосходящим размер блока, подпрессовывают под давлением в 2 атмосферы и прогревают до 210°C. При этой температуре ленты выдерживают три минуты, после чего нагрев выключают. Когда дюралюминиевые пластины остынут до 50°C, их разжимают и извлекают спаянную пластину из лент. Края пластины подрезают ножницами до требуемых размеров блока. Когда нужное количество двухслойных пластин изготовлено, их также обрабатывают флюсом (например, спиртовой раствор канифоли) и укладывают друг на друга, формируя блок. С торцов пластины в нескольких точках фиксируют паяльником, после чего их также зажимают между двух дюралюминиевых пластин и нагревают до температуры 210°C под давлением в 2 атмосферы. При этой температуре блок выдерживают 10 минут, после чего охлаждают до 50°C и вынимают.

Способ защиты блока лент от внешних воздействий.

В некоторых случаях желательно защитить блок от внешних воздействий.

Для того чтобы защитить блок от внешних механических и химических воздействий применяют методику ламинирования между двух металлических листов. Для этого из листового металла (латуни, нержавеющей стали или другого) толщиной 50 мкм ÷ 1 мм



вырезают два прямоугольника на  $2 \div 5$  мм по каждой стороне шире блока. Эти металлические пластины с одной стороны облуживают тем же припоем, которым спаян блок. После чего блок зажимают между двух металлических пластин, располагая его по центру каждой из них (пластины ориентируют луженой стороной к блоку), и по аналогии со сборкой блока пропаивают в течение 5 минут при температуре  $210^{\circ}\text{C}$  под давлением в 2 атмосферы. После извлечения у блока каждое из ребер заливают припоем заподлицо с границей металлических пластин. Таким образом, блок лент оказывается герметично запаян между двух пластин и припоем по торцам, что делает его защищенным от химического воздействия внешней среды и предохраняет от небольших механических повреждений.

Изобретение иллюстрируется следующими примерами.

Для создания сверхпроводящего блока использовалась лента ВТСП второго поколения следующего состава:

подложка: сплав Hastelloy C276, толщина 60 микрон;  
 15 буферный слой 1: оксид алюминия, толщина 50 нанометров;  
 буферный слой 2: манганит лантана, толщина 50 нанометров;  
 буферный слой 3: оксид магния, толщина 7 нанометров;  
 буферный слой 4: манганит лантана, толщина 50 нанометров;  
 буферный слой 5: оксид церия, толщина 150 нанометров;  
 20 слой сверхпроводника: гадолиний-бариевый купрат, толщина 2 микрона;  
 слой серебра: толщина 2 микрона;  
 слой меди: толщина 5 микрон;  
 слой припоя: припой ПОС61, толщина 8 микрон.

Пример 1.

Измерялась левитационная сила изотропного блока над различными магнитными сборками

Для проведения количественных измерений был изготовлен блок из сверхпроводящих лент, включающий в себя 20 пластин, в которых листы лент механически соединены по сверхпроводящим сторонам. Каждый лист состоит из двух отрезков лент длиной 30 мм, соединенных по длинным сторонам. Листы в пластину сложены с одинаковой ориентацией продольных осей лент, со смещением верхнего листа относительно нижнего на 6 мм (половина ширины ленты). Площадь пластины в результате получилась  $30 \times 30$  мм. Всего в блоке использовано 2,4 метра ленты.

Для измерения силы левитации было изготовлено две различных магнитных сборки Хальбаха из девяти неодимовых магнитов марки N38 размером  $10 \times 10 \times 10$  мм каждый, уложенных в форме квадрата  $3 \times 3$ .

Блок из сверхпроводящих лент зафиксировали на вертикальной направляющей и постепенно сближали с магнитной сборкой, регистрируя создаваемое блоком усилие, сопротивляющееся сближению с магнитной сборкой. На расстоянии 5 мм от магнитной сборки до сверхпроводника усилие для обеихборок составило 2 кг, а на расстоянии 1 мм усилие составило 2,5 кг и 3,5 кг для разных магнитныхборок (см. фиг. 6).

Таким образом, можно сделать вывод, что блок из сверхпроводящих лент действительно может создавать значительную левитационную силу, превышающую 1 кг на 1 метр ленты.

Пример 2.

Измерялась левитационная сила анизотропного блока с различной ориентацией относительно магнитного рельса.

Для проведения измерений был изготовлен блок размером  $36 \text{ мм} \times 36 \text{ мм}$  из 10 пластин,

каждая из которых включает в себя два листа, один собранный из двух отрезков лент длиной 36 мм, второй из трех отрезков длиной 36 мм, смещенных друг относительно друга на половину ширины ленты. Листы собраны в пластины с ориентацией сверхпроводящих сторон друг к другу. Все пластины ориентированы продольными осями лент в одну сторону.

Магнитный рельс выложен из трех рядов магнитов, каждый ряд в поперечном сечении имеет размер 12 мм\*6 мм. Ряды стыкуются между собой по грани высотой 6 мм. Намагничивание каждого ряда выполнено по нормали к плоскости рельса. Магниты центрального ряда обращены южным полюсом к сверхпроводящему блоку, боковых рядов - северным полюсом.

По методике, аналогичной измерению в примере 1, блок закрепили на вертикальной направляющей. В одном случае блок был ориентирован продольными осями лент поперек рельса, во втором - вдоль. Ввиду анизотропии блока и магнитного рельса ориентация лент вдоль полюсов магнитного рельса позволяет достичь несколько большей силы левитации.

Результаты измерения проиллюстрированы на графике в соответствии с фиг. 6. Пример 3.

Исследовалась способность блока из сверхпроводящих лент к экранированию магнитного поля.

Два блока, сделанных так же, как для измерения в соответствии с примером 1, были апробированы в качестве экранов магнитного поля.

Стенд для измерений включал в себя неодимовый магнит (цилиндр диаметром 25 мм и высотой 25 мм, марка N38) на вертикальной направляющей, датчик магнитного поля и емкость для помещения сверхпроводящих блоков между магнитом и датчиком. Магнит постепенно придвигали к датчику магнитного поля и регистрировали значения с датчика в зависимости от расстояния до магнита. Затем такое же измерение провели со сверхпроводящим блоком между ними и с двумя блоками (блоки своими геометрическими размерами не позволяли приблизить магнит вплотную к датчику, поэтому измерение проводилось до касания магнитом блока).

Как видно из графика в соответствии с фиг. 8, один блок уже экранирует существенные магнитные поля, однако при полях более 300 мТл ленты начинают пропускать часть поля сквозь блок. Двумя блоками можно полностью экранировать поле сильного постоянного магнита.

Преимуществами блоков из ВТСП-лент второго поколения в соответствии с изобретением по сравнению с объемными ВТСП-керамиками являются:

- высокая производительность, особенно в высоких магнитных полях. Так как ленты имеют такую же, как керамические блоки, инженерную плотность тока (порядка 70 кА/см<sup>2</sup>), но за счет большого количества центров пиннинга в ВТСП слое в лентах магнитное поле в значительно меньшей степени подавляет критический ток в лентах;

- долговечность, т.к. ленты в блоке запаяны герметично, а, следовательно, не подвержены воздействию окружающей среды;

- более высокая прочность, т.к. ленты изготовлены на металлической основе, а керамические материалы по своей природе, наоборот, хрупкие;

- простота масштабирования. В отличие от керамики, где проблемой является изготовление крупного блока (площадью больше 100 см<sup>2</sup>), сверхпроводящие ленты можно изначально брать любой длины, технология сборки при этом остается той же самой, что и для более мелкого блока;

- свобода формы, так как ленты изначально гибкие и при укладке могут принимать

любую форму.

#### Формула изобретения

1. Сверхпроводящий многослойный блок, характеризующийся тем, что включает пакет из сверхпроводящих листов, установленных один на другой и механически связанных друг с другом, где каждый лист выполнен из отрезков высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения, уложенных в ряд и механически связанных друг с другом по длинным сторонам, причем ленты в каждом последующем листе размещены так, что продольные оси лент последующего листа расположены параллельно осям лент предыдущего листа и смещены относительно упомянутых осей лент предыдущего листа в поперечном направлении или продольные оси лент последующего листа расположены под углом к осям лент предыдущего листа.

2. Блок по п. 1, характеризующийся тем, что между собой листы и ленты в листах механически связаны посредством пайки.

3. Блок по п. 1, характеризующийся тем, что упомянутая высокотемпературная сверхпроводящая лента дополнительно содержит слой припоя.

4. Блок по п. 1, характеризующийся тем, что упомянутая высокотемпературная сверхпроводящая лента второго поколения включает последовательно расположенные подложку, по меньшей мере, с одним буферным слоем, последующий сверхпроводящий слой и защитный слой, выполненный из серебра и/или меди.

5. Блок по п. 4, характеризующийся тем, что каждые два листа из упомянутых сверхпроводящих лент механически связаны друг с другом по сверхпроводящим слоям в пластины, а упомянутые пластины связаны друг с другом по подложкам с образованием блока.

6. Блок по п. 4, характеризующийся тем, что все листы из упомянутых сверхпроводящих лент в блоке расположены с одинаковой ориентацией сверхпроводящего слоя.

7. Блок по п. 1, характеризующийся тем, что он дополнительно содержит защитную оболочку, выполненную из листового металла или сплава.

8. Способ изготовления сверхпроводящего многослойного блока, характеризующийся тем, что включает следующие стадии:

(А) получение листов путем укладки сверхпроводящих высокотемпературных лент второго поколения в ряд и последующего термического воздействия на упомянутые ленты для создания механической связи лент по их длинным сторонам;

(В) формирование блока путем укладки листов в пакет таким образом, что продольные оси лент последующего листа располагают параллельно продольным осям лент предыдущего листа, но со сдвигом в направлении, перпендикулярном продольным осям лент, или продольные оси лент последующего листа располагают под углом к продольным осям лент предыдущего листа.

(С) последующее термическое воздействие на листы для создания механической связи листов друг с другом.

9. Способ по п. 8, характеризующийся тем, что термическое воздействие на упомянутые сверхпроводящие ленты на стадии А и на упомянутые сверхпроводящие листы на стадии С осуществляют путем пайки.

10. Способ по п. 9, характеризующийся тем, что перед стадией А на упомянутые ленты наносят припой.

11. Способ по п. 8, характеризующийся тем, что в качестве сверхпроводящих лент второго поколения используют ленты, включающие подложку, по меньшей мере, с

одним буферным слоем, последующий сверхпроводящий слой и защитный слой, выполненный из серебра и/или меди.

12. Способ по п. 11, характеризующийся тем, что на стадии В два листа укладывают сверхпроводящим слоем навстречу друг другу и осуществляют термическое воздействие по этим слоям с получением пластин, а пластины приводят в контакт друг с другом по подложкам с последующим соединением друг с другом в блоки путем термического воздействия на поверхности контакта упомянутых пластин.

13. Способ по п. 8, характеризующийся тем, что после стадии С блок защищают от механических повреждений оболочкой, выполненной из листового металла или сплава.

14. Способ по п. 13, характеризующийся тем, что оболочку соединяют с блоком путем пайки.

15

20

25

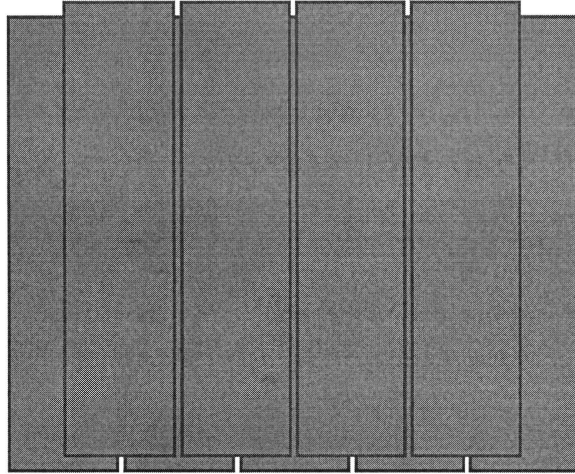
30

35

40

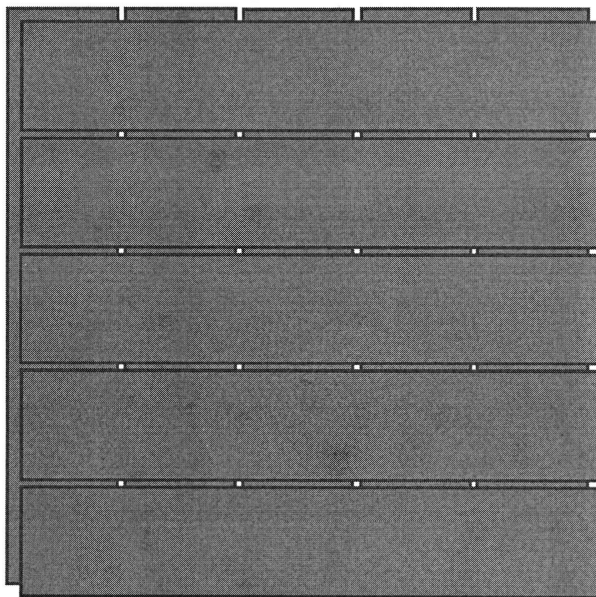
45

Укладка двух листов с одинаковой ориентацией продольных осей лент



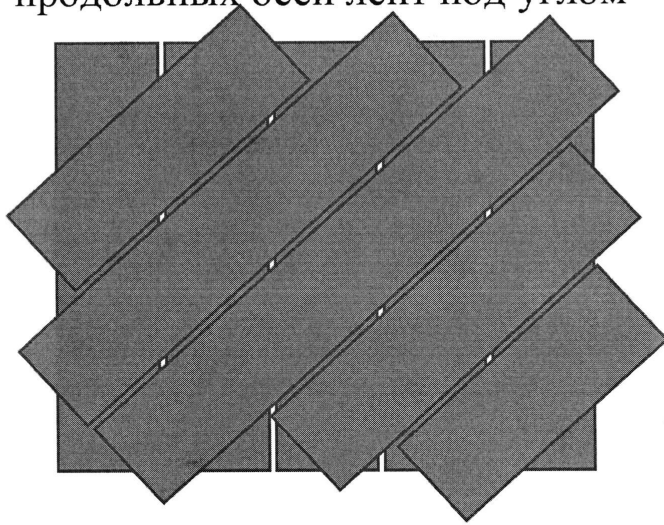
Фиг.1

Укладка двух листов с ориентацией продольных осей лент под углом



Фиг.2

Укладка двух листов с ориентацией  
продольных осей лент под углом



Фиг.3



Схема 4-2:  
**Листы связаны по сверхпроводящим слоям**

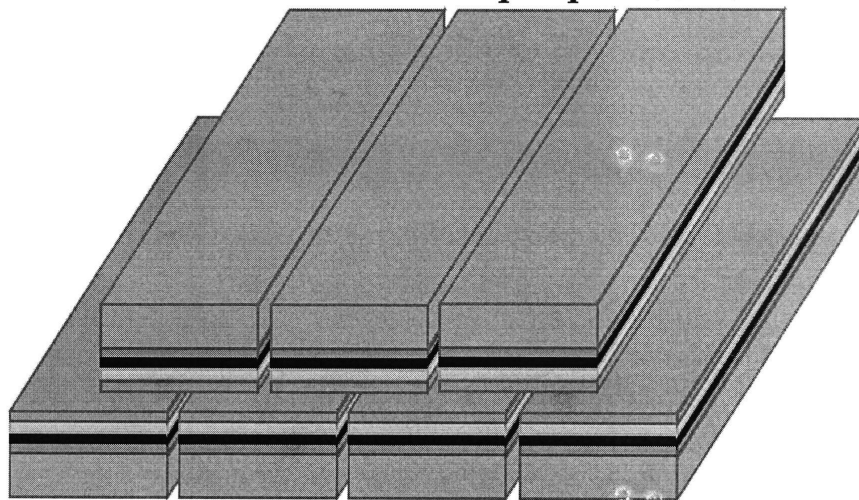
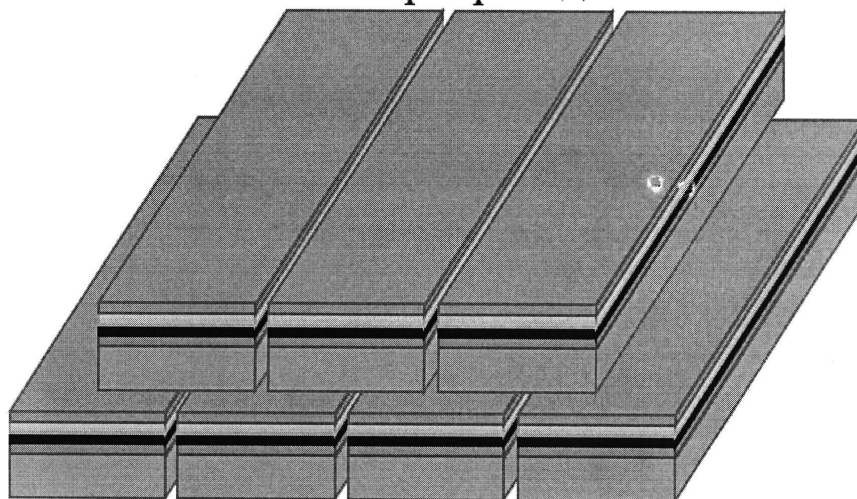
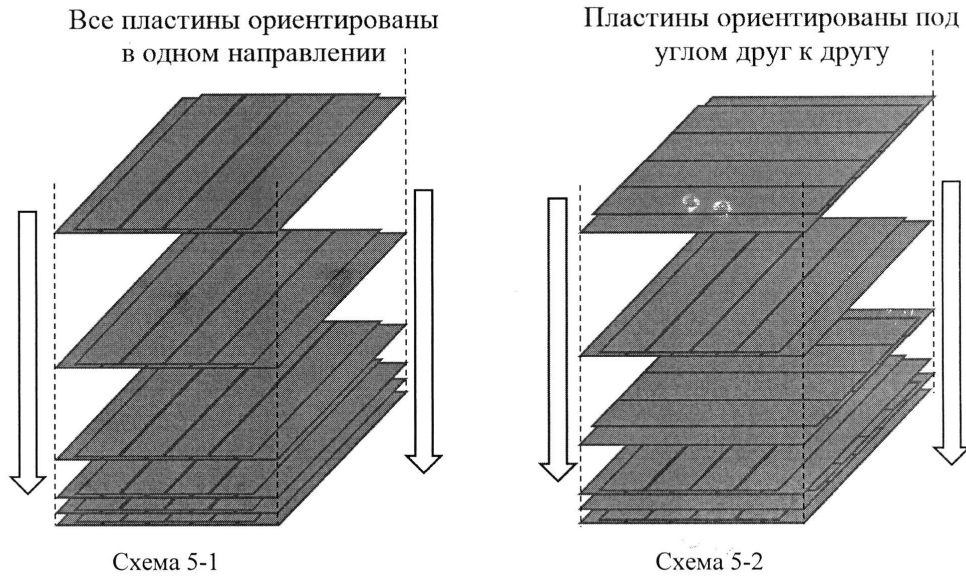


Схема 4-3:  
**Листы уложены с одинаковой ориентацией  
сверхпроводника**

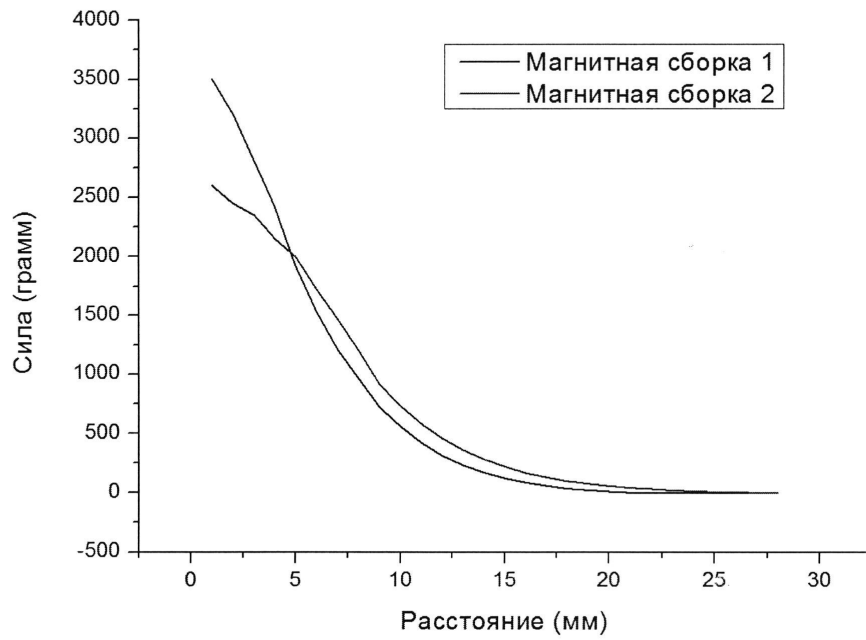


Фиг.4

### Формирование пакета пластин

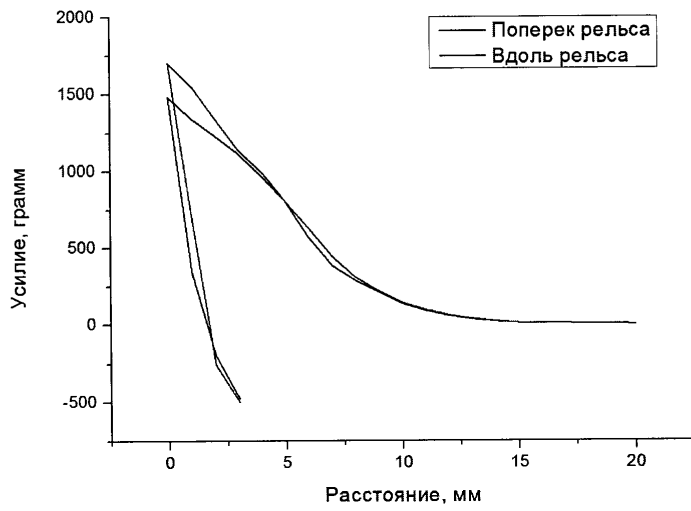


Фиг. 5

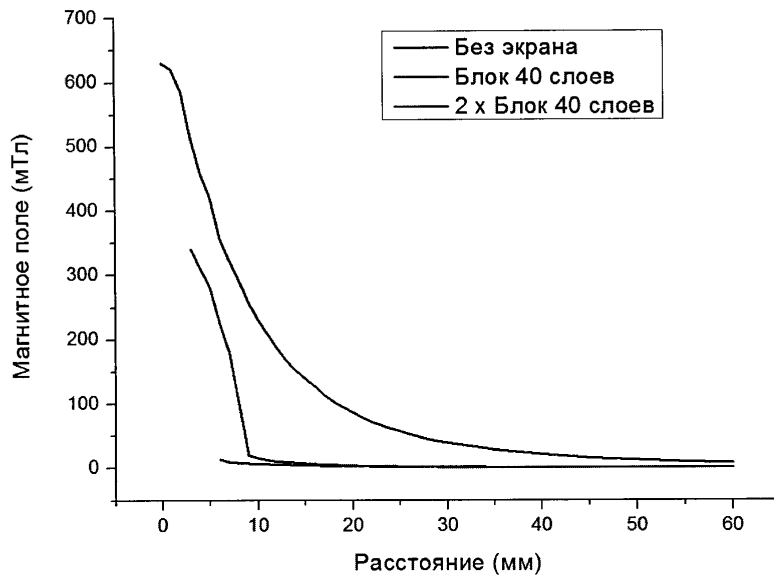


Фиг.6





Фиг.7



Фиг.8