



(51) МПК
H01F 41/02 (2006.01)
H01F 1/053 (2006.01)
C01B 35/04 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009128025/07, 19.12.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 19.12.2007

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
 21.12.2006 JP 2006-344781

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2011 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 10.08.2012 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: JP 2005175138 A, 30.06.2005. JP 2006303433 A, 02.11.2006. JP 2004304038 A, 28.10.2004. RU 2113742 C1, 20.06.1998. RU 2136068 C1, 27.08.1999.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 21.07.2009

(86) Заявка РСТ:
 JP 2007/074406 (19.12.2007)

(87) Публикация заявки РСТ:
 WO 2008/075711 (26.06.2008)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
 ООО "Юридическая фирма Городиский и
 Партнеры", пат.пов. А.В.Мицу, рег.№ 364

(72) Автор(ы):

**НАГАТА Хироси (JP),
 НАКАМУРА Кюзо (JP),
 КАТОУ Такео (JP),
 НАКАЦУКА Ацуси (JP),
 МУКАЕ Итироу (JP),
 ИТОУ Масами (JP),
 ЙОСИИЗУМИ Реу (JP),
 СИНГАКИ Йосинори (JP)**

(73) Патентообладатель(и):

УЛВАК, ИНК. (JP)

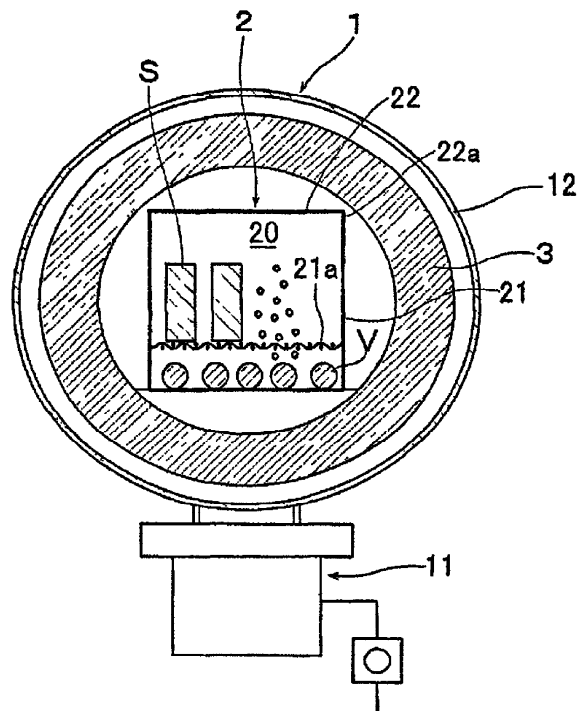
(54) ПОСТОЯННЫЙ МАГНИТ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Раскрыт способ изготовления постоянного магнита с Ду или Tb, продифундировавшими в кристаллическую зернограничную фазу спеченного магнита (S). Этот способ не содержит предварительной стадии очистки поверхности спеченного магнита перед сцеплением Ду и/или Tb с поверхностью спеченного магнита, и поэтому производительность улучшается. Получение спеченного магнита с высокими магнитными свойствами за короткий период времени является техническим результатом

предложенного изобретения. В частности, спеченный магнит (S) на основе железа-бора-редкоземельного элемента располагают в рабочей камере (20), которую нагревают до определенной температуры, испаряя испаряющийся материал (V), который размещен в той же самой или другой рабочей камере и состоит из гидрида, содержащего по меньшей мере один из Ду и Tb. Испаренный испаряющийся материал сцепляется с поверхностью спеченного магнита, и атомы металла Ду и/или Tb в сцепляющемся испаряющемся материале диффундируют в

кристаллическую зернограничную фазу спеченного магнита, при этом диффундирование атомов металла осуществляется прежде, чем на поверхности спеченного магнита образуется тонкая пленка по меньшей мере одного из Dy и Tb. 2 н. и 4 з.п. ф-лы, 6 ил., 1 пр.



ФИГ.2

RU 2 4 5 8 4 2 3 C 2

RU 2 4 5 8 4 2 3 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01F 41/02 (2006.01)
H01F 1/053 (2006.01)
C01B 35/04 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2009128025/07, 19.12.2007**

(24) Effective date for property rights:
19.12.2007

Priority:

(30) Convention priority:
21.12.2006 JP 2006-344781

(43) Application published: **27.01.2011 Bull. 3**

(45) Date of publication: **10.08.2012 Bull. 22**

(85) Commencement of national phase: **21.07.2009**

(86) PCT application:
JP 2007/074406 (19.12.2007)

(87) PCT publication:
WO 2008/075711 (26.06.2008)

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):

**NAGATA Khirosi (JP),
NAKAMURA Kjuzo (JP),
KATOU Takeo (JP),
NAKATsUKA Atsusi (JP),
MUKAE Itirou (JP),
ITOU Masami (JP),
JOSIIZUMI Reu (JP),
SINGAKI Josinori (JP)**

(73) Proprietor(s):

ULVAK, INK. (JP)

(54) **PERMANENT MAGNET AND METHOD OF MAKING SAID MAGNET**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: disclosed is a method of making a permanent magnet with Dy and Tb diffused into the crystalline grain-boundary phase of a sintered magnet (S). Obtaining a sintered magnet with good magnetic properties over a short period of time is the technical result of this invention. In particular, the sintered magnet (S) based on an iron-boron-rare-earth element is placed in a working chamber (20) which is heated to a defined temperature while evaporating material (V) which is placed in the same or another working chamber and consists of a hydride

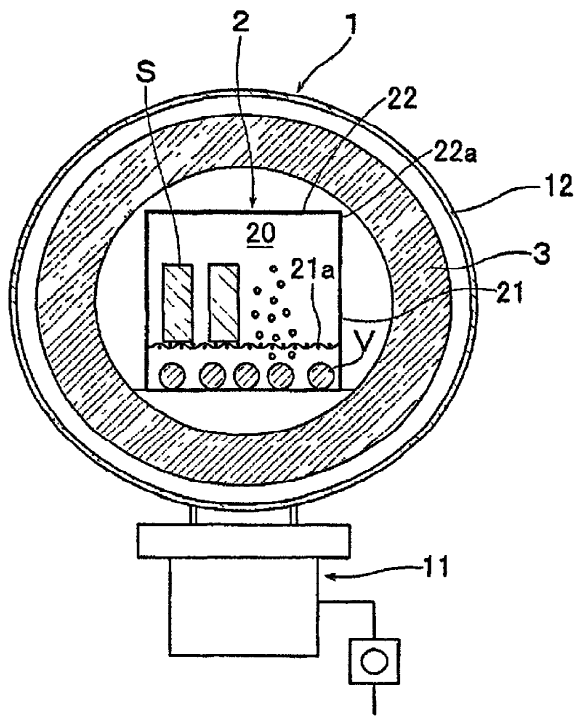
containing at least one of Dy and Tb. The evaporated material adheres to the surface of the sintered magnet, and Dy and/or Tb atoms in the adhered evaporated material diffuse into the crystalline grain-boundary phase of the sintered magnet, wherein diffusion of metal atoms takes place before a thin film of at least one of Dy and Tb forms on the surface of the sintered magnet.

EFFECT: method does not have a preliminary step for cleaning the surface of the sintered magnet before attachment of Dy or Tb onto the surface of the sintered magnet, which improves efficiency.

6 cl, 6 dwg, 1 ex

RU 2 458 423 C2

RU 2 458 423 C2



ФИГ.2

RU 2 4 5 8 4 2 3 C 2

RU 2 4 5 8 4 2 3 C 2

Область техники

[0001] Настоящее изобретение относится к постоянному магниту и способу изготовления постоянного магнита и, более конкретно, относится к постоянному магниту, имеющему высокие магнитные свойства, в котором Dy и/или Tb диффундируют в зернограничную фазу спеченного магнита на основе Nd-Fe-B, и к способу изготовления такого постоянного магнита.

Предпосылки создания изобретения

[0002] Спеченный магнит на основе Nd-Fe-B (так называемый неодимовый магнит) состоит из сочетания железа и элементов Nd и В, которые являются недорогими, распространенными и стабильно получаемыми природными ресурсами, и поэтому может изготавливаться при низкой стоимости и, кроме того, имеет высокие магнитные свойства (его максимальное энергетическое произведение примерно в 10 раз больше, чем у ферритного магнита. Соответственно, спеченные магниты на основе Nd-Fe-B используются в различного рода изделиях, таких как электронные приборы, и недавно стали применяться в двигателях и электрогенераторах для гибридных автомобилей.

[0003] С другой стороны, поскольку температура Кюри вышеуказанного спеченного магнита составляет всего лишь примерно 300°C, то имеется проблема, заключающаяся в том, что спеченный магнит Nd-Fe-B иногда нагревается выше заданной температуры в зависимости от условий эксплуатации используемого изделия, и поэтому он будет размагничиваться под действием тепла при нагревании выше этой заданной температуры. При использовании вышеописанного спеченного магнита в желаемом изделии имеются случаи, когда спеченный магнит должен изготавливаться с заданной формой. Тогда имеется другая проблема, заключающаяся в том, что такое изготовление порождает дефекты (трещины и т.п.) и напряжения в зернах спеченного магнита, приводящие к значительному ухудшению магнитных свойств.

[0004] Поэтому при получении спеченного магнита на основе Nd-Fe-B считается необходимым добавлять Dy и Tb, которые значительно улучшают магнитную анизотропию зерен главной фазы, потому что у них магнитная анизотропия 4f-электрона выше, чем у Nd, и потому что они имеют отрицательный коэффициент Стивенса подобно Nd. Однако, поскольку Dy и Tb приобретают ферромагнитную структуру, имеющую ориентацию спинов, отрицательную по отношению к их ориентации у Nd в кристаллической решетке главной фазы, напряженность магнитного поля и, соответственно, максимальное энергетическое произведение, демонстрирующее магнитные свойства, сильно снижается.

[0005] Для того чтобы решить данный вид проблемы, было предложено: формировать пленку Dy и Tb до заданной толщины (необходимо формировать пленку толщиной свыше 3 мкм в зависимости от объема магнита) по всей поверхности спеченного магнита Nd-Fe-B; затем проводить термообработку при заданной температуре, тем самым вызывая гомогенную диффузию Dy и Tb, которые отложились (образовали тонкую пленку) на поверхности, в зернограничную фазу магнита (смотри непатентный документ 1).

[0006] Постоянный магнит, изготовленный вышеописанным способом, имеет преимущество, заключающееся в том, что, поскольку Dy и Tb, продиффундировавшие в зернограничную фазу, улучшают магнитную анизотропию зерен на каждой из поверхностей зерна, то усиливается механизм возникновения коэрцитивной силы по типу зародышеобразования, в результате коэрцитивная сила резко увеличивается, а максимальное энергетическое произведение почти не будет теряться (в непатентном документе 1 указано, что может быть получен магнит, имеющий такие

характеристики, как, например, остаточная магнитная индукция 14,5 кГс (1,45 Тл), максимальное энергетическое произведение 50 МГсЭ (400 кДж/м³) и коэрцитивная сила 23 кЭ (3 МА/м).

5 Непатентный документ 1: Улучшение коэрцитивности у тонких спеченных постоянных магнитов Nd₂Fe₁₄B (Пак Кида (Pak Kida), Университет Тохоку, докторская диссертация, 23 марта 2000 г.).

Раскрытие изобретения

Проблемы, решаемые изобретением

10 [0007] Таким образом, т.к. спеченный магнит на основе Nd-Fe-B имеет редкоземельные элементы и железо в качестве своих главных компонентов, он подвержен окислению при воздействии атмосферы. В том случае, когда вышеуказанная обработка с диффузией в зернограничную фазу осуществляется после того, как Dy и/или Tb сцепился с поверхностью спеченного магнита в состоянии 15 окисления на поверхности спеченного магнита, диффузия Dy и/или Tb в зернограничную фазу затрудняется поверхностным окисленным слоем. В результате имеется проблема, заключающаяся в том, что диффузионная обработка не может быть осуществлена за короткое время, а магнитные свойства не могут быть 20 эффективно улучшены или восстановлены. В качестве решения предлагается перед сцеплением Dy и/или Tb с поверхностью спеченного магнита очищать поверхность спеченного магнита плазмой при использовании плазмогенерирующего устройства известной конструкции для генерирования плазмы Ar или He. Однако это решение 25 дает в результате увеличение стадий изготовления, тем самым приводя к плохой технологичности.

[0008] Поэтому ввиду вышеуказанных моментов первая задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить способ изготовления постоянного магнита, при котором Dy и/или Tb, сцепленные с поверхностью спеченного магнита, 30 могут эффективно диффундировать в зернограничную фазу и при котором постоянный магнит с высокими магнитными свойствами может быть получен с высокой производительностью. Вторая задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить постоянный магнит с высокими магнитными свойствами, в котором Dy и/или Tb эффективно диффундировали только в зернограничную фазу 35 спеченного магнита на основе Nd-Fe-B.

Средства решения проблем

[0009] Для того чтобы решить вышеуказанные проблемы, способ изготовления постоянного магнита согласно пункту 1 формулы изобретения включает в себя: 40 нагревание спеченного магнита на основе железа-бора-редкоземельного элемента, расположенного в рабочей камере, до заданной температуры; испарение испаряющегося материала, расположенного в той же самой или другой рабочей камере, причем этот испаряющийся материал включает в себя гидрид, содержащий по меньшей мере один из Dy и Tb; обеспечение сцепления испаренного испаряющегося 45 материала с поверхностью спеченного магнита; и диффундирование атомов металла Dy и/или Tb сцепленного испаряющегося материала в зернограничную фазу спеченного магнита.

[0010] В соответствии с данным изобретением испаренный испаряющийся материал 50 подается к поверхности спеченного магнита, который был нагрет до заданной температуры, и сцепляется с ней. В это время при нагревании спеченного магнита до температуры, при которой может быть получена наиболее подходящая скорость диффузии, атомы металла Dy и/или Tb, сцепленного с поверхностью испаряющегося

материала, постепенно диффундируют в зернограничную фазу спеченного магнита. Другими словами, подача атомов металла Ду и/или Tb к поверхности спеченного магнита и их диффузия в зернограничную фазу спеченного магнита осуществляются за одну технологическую стадию (вакуумно-паровая обработка).

5 [0011] В данном случае в качестве испаряющегося материала использовался гидрид, содержащий по меньшей мере один из Ду и Tb. Поэтому, когда вызывали испарение испаряющегося материала, диссоциированный водород подается к поверхности спеченного магнита и реагирует с окисленным слоем на его поверхности, так что
10 отводится в виде соединения, такого как H₂O. Таким образом, окисленный слой на поверхности спеченного магнита может быть удален и очищен. В результате предварительная стадия очистки поверхности спеченного магнита перед подачей Ду и/или Tb к поверхности спеченного магнита становится ненужной с улучшением в результате производительности. Кроме того, поскольку поверхностный окисленный
15 слой спеченного магнита удаляется, становится возможным эффективное диффундирование и гомогенное распределение Ду и/или Tb за короткий период времени в зернограничную фазу спеченного магнита с дополнительным улучшением в результате производительности.

20 [0012] В соответствии с данной схемой может быть получен постоянный магнит, в котором зернограничная фаза имеет богатую Ду и/или богатую Tb фазу (фазу, содержащую Ду и/или Tb в интервале 5-80%), в котором Ду и/или Tb распределены только вблизи поверхностей зерен и который вследствие этого имеет высокую
25 коэрцитивную силу и высокие магнитные свойства. Кроме того, в том случае, если в зернах вблизи поверхности спеченного магнита во время его изготовления возникли дефекты (трещины), то на внутренней стороне трещин образуется богатая Ду и/или богатая Tb фаза, и в результате могут быть восстановлены намагниченность и коэрцитивная сила.

30 [0013] Во время вышеуказанной обработки спеченный магнит и испаряющийся материал предпочтительно располагают на расстоянии друг от друга. Тогда при испарении испаряющегося материала может быть благоприятно предотвращено непосредственное прилипание расплавленного испаряющегося материала к спеченному магниту.

35 [0014] Предпочтительно, способ дополнительно включает в себя: увеличение или снижение количества испарений при определенной температуре за счет варьирования удельной площади поверхности расположенного в рабочей камере испаряющегося материала, в результате чего регулируют подаваемое количество испаренного
40 испаряющегося материала к поверхности спеченного магнита. В данном случае, если регулирование подаваемого количества испаренного испаряющегося материала к поверхности спеченного магнита выполняют так, что не образуется тонкая пленка (слой), например, из испаряющегося материала, то условия на поверхности постоянного магнита будут по существу такими же, как и до того, как осуществляется
45 вышеуказанная обработка. Таким образом, предотвращается ухудшение поверхности полученного постоянного магнита (предотвращается ухудшение шероховатости поверхности). Кроме того, затрудняется избыточное диффундирование Ду и/или Tb в зерна, особенно вблизи поверхности спеченного магнита, и никакой последующей
50 стадии не требуется, в результате чего может быть достигнута более высокая производительность. Кроме того, подаваемое количество, например, испаряющегося материала к поверхности спеченного магнита может легко регулироваться без изменения конструкции устройства, такого как обеспечение внутри рабочей камеры

отдельной детали для увеличения или снижения подаваемого количества испаряющегося материала к поверхности спеченного магнита.

5 [0015] Если способ дополнительно включает в себя, после диффундирования атомов металла Ду и/или Tb в зернограничную фазу спеченного магнита, проведение термообработки для снятия напряжений в спеченном магните при заданной температуре более низкой, чем упомянутая температура, может быть получен постоянный магнит с высокими магнитными свойствами, в котором намагниченность и коэрцитивная сила могут быть дополнительно улучшены или восстановлены.

10 [0016] Способ предпочтительно также включает в себя, после диффундирования атомов металла Ду и/или Tb в зернограничную фазу спеченного магнита, разрезание спеченного магнита до заданной толщины в направлении, перпендикулярном направлению магнитного выравнивания. Согласно указанной схеме по сравнению со случаем, при котором спеченный магнит блочной формы, имеющий заданные
15 размеры, разрезают на множество тонких кусков, затем их помещают в этом состоянии в рабочую камеру, а после этого подвергают вышеуказанной вакуумно-паровой обработке, помещение спеченного магнита в рабочую камеру и его вынимание из нее могут быть осуществлены за короткое время, и подготовительные работы по осуществлению вышеуказанной вакуумно-паровой обработки облегчаются с улучшением в результате производительности.

[0017] В данном случае, если спеченный магнит разрезают до желаемой формы с помощью электроэрозионного станка или т.п., имеются случаи, когда возникают трещины в зернах, которые являются главной фазой на поверхности спеченного
25 магнита, поэтому магнитные свойства заметно ухудшаются. Однако, поскольку при осуществлении вышеуказанной вакуумно-паровой обработки зернограничная фаза имеет богатую Ду фазу и, кроме того, поскольку Ду диффундирует только поблизости от зерен, может быть предотвращено ухудшение магнитных свойств, даже если постоянный магнит получается разрезанием спеченного магнита на множество
30 тонких кусков на последующей стадии. В сочетании с тем, что чистовая обработка не требуется, может быть получен постоянный магнит с высокими магнитными свойствами, который является превосходным по производительности.

[0018] Кроме того, для того чтобы решить описанные выше проблемы, постоянный
35 магнит согласно пункту б формулы изобретения характеризуется тем, что: спеченный магнит на основе железа-бора-редкоземельного элемента, расположенный в рабочей камере, нагревают до заданной температуры; испаряющийся материал, расположенный в той же самой или другой рабочей камере, нагревают для испарения
40 испаряющегося материала, включающего в себя гидрид, содержащий по меньшей мере один из Ду и Tb; испаренный испаряющийся материал вынуждают сцепляться с поверхностью спеченного магнита; и атомы металла Ду и/или Tb сцепленного испаряющегося материала диффундируют в зернограничную фазу спеченного магнита.

45 **Эффекты изобретения**

[0019] Как описано выше, способ изготовления постоянного магнита согласно данному изобретению обладает тем эффектом, что может быть получен постоянный магнит, в котором, без предварительной стадии удаления окисленного слоя с
50 поверхности спеченного магнита, Ду и/или Tb могут эффективно диффундировать в зернограничную фазу, причем постоянный магнит имеет высокую производительность и высокие магнитные свойства.

Наилучший вариант осуществления изобретения

[0020] Обращаясь к Фиг. 1 и 2, постоянный магнит М по данному изобретению изготавливают, одновременно осуществляя ряд процессов (вакуумно-паровой обработки): испарение испаряющегося материала v, содержащего по меньшей мере один из Dy и Tb; принуждение испаряющегося материала v сцепляться с поверхностью спеченного магнита S на основе Nd-Fe-B, который был получен с заданной формой; и гомогенное диффундирование и проникновение атомов металла Dy и/или Tb сцепленного испаряющегося материала в зернограничную фазу спеченного магнита.

[0021] Спеченный магнит S на основе Nd-Fe-B в качестве исходного материала получают известным способом следующим образом. А именно из Fe, B, Nd составляют шихту в заданном составе соотношении, с получением сначала сплава толщиной 0,05-0,5 мм известным способом ленточного литья. Альтернативно, сплав, имеющий толщину примерно 5 мм, может быть получен известным способом центробежного литья. При составлении шихты может быть добавлено небольшое количество Cu, Zr, Dy, Tb, Al или Ga. Затем полученный сплав сразу измельчают известным способом водородного измельчения и затем тонко измельчают способом тонкого измельчения в струйной мельнице с получением в результате исходного молотого порошка сплава. Затем с помощью известной установки компрессионного формования (прессования) исходный молотый порошок сплава ориентируют в магнитном поле (магнитно выравнивают) и формируют в металлической пресс-форме в тело заданной формы, такой как прямоугольный параллелепипед, столбик и т.п., а затем спекают при заданных условиях с получением вышеуказанного спеченного магнита.

[0022] При компрессионном формовании исходного молотого порошка сплава в том случае, когда известная смазка вводится в исходный молотый порошок сплава, предпочтительно оптимизировать условия на каждой из стадий изготовления спеченного магнита S так, что средний диаметр зерна спеченного магнита S попадает в интервал 4-8 мкм. Согласно указанной схеме, без влияния остаточного углерода в спеченном магните S, Dy и/или Tb, сцепленные с поверхностью спеченного магнита, могут эффективно диффундировать в зернограничную фазу, в результате чего достигается высокая производительность.

[0023] В том случае, если средний диаметр зерна меньше 4 мкм, благодаря диффузии Dy и/или Tb в зернограничную фазу может быть получен постоянный магнит, имеющий высокую коэрцитивную силу. Однако это снижает преимущество введения смазки в исходный молотый порошок сплава, состоящее в том, что в процессе компрессионного формования в магнитном поле может быть обеспечена текучесть и может быть улучшена ориентация. Ориентация у спеченного магнита становится плохой, и в результате будет снижаться остаточная магнитная индукция и максимальное энергетическое произведение, демонстрирующие магнитные свойства. С другой стороны, если средний диаметр зерна больше 8 мкм, коэрцитивная сила будет снижаться, потому что кристалл является крупным. Кроме того, поскольку площадь поверхности границы зерен становится меньше, отношение концентрации остаточного углерода вблизи границы зерен становится больше, и коэрцитивная сила становится значительно сниженной. Кроме того, остаточный углерод реагирует с Dy и/или Tb, и диффузия Dy в зернограничную фазу затрудняется, а время диффузии становится продолжительнее, приводя к плохой производительности.

[0024] Как показано на Фиг. 2, устройство 1 вакуумно-паровой обработки для проведения вышеописанной обработки имеет вакуумную камеру 12, в которой давление может быть снижено и может выдерживаться на заданном уровне

(например, 1×10^{-5} Па) с помощью вакуумирующего средства 11, такого как турбомолекулярный насос, крионасос, диффузионный насос и т.п. В вакуумной камере 12 расположен короб 2, содержащий ящик 21 в виде прямоугольного параллелепипеда с открытой верхней стороной и крышку 22, которая съемно устанавливается на открытую верхнюю сторону ящика 21.

[0025] По всему периметру крышки 22 выполнена отогнутая вниз кромка 22а. Когда крышка 22 устанавливается в свое положение на верхней стороне ящика 21, кромка 22а садится на наружную стенку ящика 21 (в данном случае вакуумное уплотнение, такое как металлическое уплотнение, не предусматривается), так, чтобы ограничить рабочую камеру 20, которая изолирована от вакуумной камеры 12. Она сконструирована так, что, когда давление в вакуумной камере 12 снижается с помощью вакуумирующего средства 11 до заданного уровня (например, 1×10^{-5} Па), давление в рабочей камере 20 снижается до уровня (например, 5×10^{-4} Па), который выше по существу на половину разряда, чем давление в вакуумной камере 12.

[0026] Объем рабочей камеры 20 устанавливается с учетом средней длины свободного пробега испаряющегося материала v так, что атомы металлов в атмосфере паров могут подаваться к спеченному магниту S напрямую или с множества направлений при повторяющихся соударениях. Поверхности ящика 21 и крышки 22 задаются имеющими такие толщины, чтобы термически не деформироваться при нагревании нагревательным средством, описанным далее, и выполнены из материала, который не реагирует с испаряющимся материалом v .

[0027] Другими словами, когда испаряющийся материал v представляет собой Du , в случае использования Al_2O_3 , который часто используется в обычном вакуумном устройстве, имеется вероятность того, что Du в атмосфере паров прореагирует с Al_2O_3 , так что на его поверхности образуются продукты реакции, приводя в результате к проникновению атомов Al в атмосферу паров. Соответственно, короб 2 выполняется, например, из Mo , W , V , Ta или их сплавов (включая Mo -ый сплав с добавкой редкоземельных элементов, Mo -ый сплав с добавкой Ti и т.п.), CaO , Y_2O_3 или оксиды редкоземельных элементов или конструируется путем формирования внутренней облицовки на поверхности другого изоляционного материала. В рабочей камере на заданной высоте от нижней (донной) поверхности размещается в виде решетки несущая сетка 21а, например, из множества Mo -ых проволок (например, диаметром 0,1-10 мм). На этой несущей сетке 21а может быть помещено бок о бок множество спеченных магнитов S . С другой стороны, испаряющийся материал v соответственно помещается на нижней поверхности, боковых поверхностях и верхней поверхности рабочей камеры 20.

[0028] В качестве испаряющегося материала v используется гидрид, содержащий по меньшей мере один из Du и Tb , который значительно улучшает магнитокристаллическую анизотропию главной фазы, например, DuH_2 или TbH_2 , полученный известным способом. В соответствии с указанной схемой даже в состоянии, в котором поверхность спеченного магнита S окислена, раз испаряющийся материал v испаряется во время вакуумно-паровой обработки, диссоциированный водород подается к поверхности спеченного магнита S и реагирует с поверхностным окисленным слоем, при этом отводясь в виде соединения, такого как H_2O .

Окисленный слой на поверхности спеченного магнита S таким образом удаляется и очищается. В результате подготовительная стадия очистки поверхности спеченного магнита S перед подачей Du и/или Tb к поверхности спеченного магнита S больше не требуется, в результате чего улучшается производительность. Кроме того, поскольку

окисленный слой на поверхности спеченного магнита S удаляется, Dy и/или Tb могут эффективно и равномерно диффундировать в зернограничную фазу спеченного магнита S, в результате чего дополнительно улучшается производительность.

[0029] Вакуумная камера 12 снабжена нагревательным средством 3.

5 Нагревательное средство 3 подобно коробу 2 выполнено из материала, который не реагирует с испаряющимся материалом v, и расположено так, чтобы охватывать периферию короба 2. Нагревательное средство 3 содержит выполненный из Mo теплоизоляционный материал, который на его внутренней поверхности снабжен
10 отражающей поверхностью, и электронагреватель, который расположен на внутренней стороне теплоизоляционного материала и который имеет выполненную из Mo нить. При нагревании короба 2 нагревательным средством 3 при пониженном давлении рабочая камера 20 косвенно нагревается через короб 2, поэтому внутреннее пространство рабочей камеры 20 может быть нагрето по существу равномерно.

15 [0030] Теперь будет приведено описание изготовления постоянного магнита M с использованием вышеописанного устройства 1 вакуумно-паровой обработки. Прежде всего спеченные магниты S, полученные в соответствии с вышеописанным способом, помещают на несущую сетку 21а ящика 21, а DyH₂ в качестве испаряющегося
20 материала v помещают на нижнюю поверхность ящика 21 (в соответствии с этим спеченные магниты S и испаряющийся материал v расположены на расстоянии друг от друга в рабочей камере 20). Установив крышку 22 на верхнюю открытую сторону ящика 21, короб 2 устанавливают в заданное положение окруженным нагревательным
25 средством 3 в вакуумной камере 12 (смотри Фиг. 2). Затем с помощью вакуумирующего средства 11 вакуумную камеру 12 вакуумируют до достижения заданного давления (например, 1×10^{-4} Па) (рабочая камера 20 вакуумируется до давления по существу наполовину разряда выше, чем вышеуказанное), и рабочую камеру 20 нагревают путем включения нагревательного средства 3, когда вакуумная
30 камера 12 достигла заданного давления. В данном случае, поскольку спеченный магнит S сам нагревается до заданной температуры (например, 800°C), содержащиеся грязь, газ и влага, адсорбированные на поверхности спеченного магнита, удаляются.

[0031] Когда температура в рабочей камере 20 достигла заданного уровня, DyH₂,
35 помещенный на нижнюю поверхность рабочей камеры 20, нагревается до по существу такой же температуры, что и рабочая камера 20, и начинает испаряться. Таким образом, внутри рабочей камеры 20 образуется атмосфера паров. Поскольку спеченный магнит S и DyH₂ расположены на расстоянии друг от друга, то даже если начинается испарение DyH₂, отсутствует вероятность того, что DyH₂ непосредственно
40 прилипнет к спеченному магниту S, чей богатый Nd слой на поверхности расплавляется. Кроме того, поскольку рабочая камера 20 нагревается до температуры выше заданной температуры (800°C), водород будет диссоциировать из испарившегося DyH₂, и атомы Dy и водород в атмосфере паров подаются к и
45 сцепляются с поверхностью спеченного магнита S, который нагрет до по существу такой же температуры, что и Dy, с множества направлений либо напрямую, либо при повторяющихся соударениях.

[0032] В данном случае диссоциированный водород подается к поверхности спеченного магнита S, при этом реагируя с поверхностным окисленным слоем, и затем
50 отводится в виде соединений, таких как H₂O или т.п., через зазор между ящиком 21 и крышкой 22 в вакуумную камеру 12. Таким образом осуществляется очистка удалением поверхностного окисленного слоя спеченного магнита S, и в то же самое время атомы металла Dy сцепляются с поверхностью спеченного магнита. Затем Dy,

сцепленный с поверхности спеченного магнита S, который нагрет до по существу такой же температуры, что и рабочая камера 20, диффундирует в зернограничную фазу спеченного магнита S, в результате чего может быть получен постоянный магнит M.

5 [0033] Как показано на Фиг. 3, когда испаряющийся материал v в атмосфере паров подается к поверхности спеченного магнита S так, чтобы образовывался слой (например, тонкая пленка слоя Dy) L1 из испаряющегося материала v, поверхность
10 постоянного магнита M заметно ухудшается (шероховатость поверхности становится ухудшенной) как результат перекристаллизации испаряющегося материала v, который сцепился с и отложился на поверхности спеченного магнита S. Кроме того, испаряющийся материал v, сцепленный с и отложенный на поверхности спеченного
15 магнита S, который был нагрет до по существу такой же температуры в процессе обработки, плавится, и Dy будет избыточно диффундировать в зерна в области R1 вблизи поверхности спеченного магнита S. В результате магнитные свойства не могут быть эффективно улучшены или восстановлены.

[0034] То есть, как только на поверхности спеченного магнита S образуется тонкая пленка из испаряющегося материала v, средний состав на поверхности спеченного
20 магнита S, прилегающей к этой тонкой пленке, становится обогащенным Dy. Как только состав становится обогащенным Dy, температура жидкой фазы снижается, и поверхность спеченного магнита S становится расплавленной (т.е. главная фаза расплавляется, и количество жидкой фазы увеличивается). В результате область
25 вблизи поверхности спеченного магнита S расплавляется и разрушается, и, таким образом, неровности увеличиваются. Кроме того, Dy избыточно проникает в зерна вместе с большим количеством жидкой фазы, и, таким образом, дополнительно снижаются максимальное энергетическое произведение и остаточная магнитная
индукция, демонстрирующие магнитные свойства.

30 [0035] Согласно данному варианту реализации DyH₂ в объемной форме (по существу сферической форме), имеющий небольшую площадь поверхности на единицу объема (удельную площадь поверхности), или DyH₂ в порошкообразной форме размещают на нижней поверхности рабочей камеры 20 в соотношении 1-10% от массы
35 спеченного магнита с тем, чтобы снизить количество испарений при постоянной температуре. Кроме того, когда испаряющийся материал v представляет собой DyH₂, температура в рабочей камере 20 устанавливается в интервале 800°C-1050°C, предпочтительно, 900°C-1000°C, путем регулирования нагревательного средства 3.

[0036] Если температура в рабочей камере 20 (и, соответственно, температура
40 нагревания спеченного магнита S) ниже 800°C, скорость диффузии атомов Dy, сцепленных с поверхностью спеченного магнита S, в зернограничную фазу замедляется. Таким образом, невозможно вынудить атомы Dy диффундировать и
гомогенно проникать в зернограничную фазу спеченного магнита прежде, чем на поверхности спеченного магнита S образуется тонкая пленка. С другой стороны, при
45 температуре выше 1050°C давление паров увеличивается, и, таким образом, испаряющийся материал v в атмосфере паров избыточно подается к поверхности спеченного магнита S. Кроме того, имеется вероятность того, что Dy будет
диффундировать в зерна. Если Dy будет диффундировать в зерна, намагниченность в
50 зернах значительно снижается, и поэтому дополнительно снижаются максимальное энергетическое произведение и остаточная магнитная индукция.

[0037] Для того чтобы Dy диффундировал в зернограничную фазу прежде, чем на поверхности спеченного магнита S образуется тонкая пленка, состоящая из

испаряющегося материала v , отношение общей площади поверхности спеченного магнита S , расположенного на несущей сетке 21а в рабочей камере 20, к общей площади поверхности испаряющегося материала v в объемной форме, расположенного на нижней поверхности рабочей камеры 20, устанавливается в интервале $1 \times 10^{-4} - 2 \times 10^3$. При ином отношении, чем этот интервал $1 \times 10^{-4} - 2 \times 10^3$, имеются случаи, когда на поверхности спеченного магнита S образуется тонкая пленка Du и/или Tb , и, таким образом, не может быть получен постоянный магнит, имеющий высокие магнитные свойства. В данном случае вышеуказанное отношение предпочтительно находится в интервале $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^3$, а более предпочтительным является вышеуказанное отношение $1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^2$.

[0038] В соответствии с вышеуказанной схемой при снижении давления паров, а также при снижении количества испарений испаряющегося материала v подаваемое количество испаряющегося материала v к спеченному магниту S ограничивается. Кроме того, в качестве совместного эффекта от нагревания спеченного магнита S в заданном температурном интервале и удаления окисленного слоя на поверхности спеченного магнита S скорость диффузии увеличивается. Атомы Du испаряющегося материала v , осажденные на поверхности спеченного магнита S , могут эффективно и равномерно диффундировать и проникать в зернограничную фазу спеченного магнита S прежде, чем на поверхности спеченного магнита S за счет отложения образуется слой из испаряющегося материала v (смотри Фиг. 1). В результате может быть предотвращено ухудшение поверхности постоянного магнита M , и Du может быть ограничен от избыточного диффундирования в зернограничную фазу вблизи поверхности спеченного магнита. Таким образом, при наличии богатой Du фазы (фазы, содержащей Du в интервале 5-80%) в зернограничной фазе и при диффундировании Du только поблизости от поверхности зерен намагниченность и коэрцитивная сила эффективно улучшаются. Кроме того, может быть получен постоянный магнит M , который не требует чистой обработки и который является превосходным по производительности.

[0039] Как показано на Фиг. 4, когда спеченный магнит обрабатывают до желаемой конфигурации с помощью электроэрозионного станка и т.п. после изготовления вышеуказанного спеченного магнита, имеются случаи, когда появляются трещины в зернах, которые являются главной фазой на поверхности спеченного магнита, приводящие к заметному ухудшению магнитных свойств (смотри Фиг. 4(a)). Однако при проведении вышеописанной вакуумно-паровой обработки на внутренней стороне трещин зерен вблизи поверхности образуется богатая Du фаза (смотри Фиг. 4(b)), поэтому намагниченность и коэрцитивная сила восстанавливаются. С другой стороны, при проведении вышеописанной вакуумно-паровой обработки зернограничная фаза имеет богатую Du фазу, и, кроме того, Du диффундирует только вблизи поверхности зерен. Поэтому, даже если в качестве последующей стадии постоянный магнит получают разрезанием спеченного магнита в объемной форме после проведения вышеописанной вакуумно-паровой обработки на множество нарезанных тонких кусков с помощью электроэрозионного станка и т.п., магнитные свойства постоянного магнита почти не ухудшаются. По сравнению со случаем, в котором спеченный магнит блочной формы, имеющий заданные размеры, разрезается на множество тонких кусков, затем эти тонкие куски содержатся размещенными в положении на несущей сетке 21а внутри короба 2, а затем они подвергаются вышеописанной вакуумно-паровой обработке, можно, например, осуществить за более короткое время закладку и выемку спеченного магнита S в

короб и из короба 2. Подготовительная работа к проведению вышеописанной вакуумно-паровой обработки облегчается, а подготовительная стадия и чистовая обработка не требуется. Как совместный эффект вышеуказанного может быть достигнута высокая производительность.

5 [0040] Наконец, после проведения вышеописанной обработки в течение заданного периода времени (например, 1-72 часа) работу нагревательного средства 3 прекращают, в рабочую камеру 20 вводят газ Ag при давлении 10 кПа с помощью средства введения газа (не показано), испарение испаряющегося материала v
10 прекращается, и температура в рабочей камере 20 сразу снижается, например, до 500°C. Без перерыва нагревательное средство 3 сразу включают снова и в рабочей камере устанавливают температуру в интервале 450°C-650°C, и проводят термообработку для снятия напряжений в постоянных магнитах с дополнительным улучшением или восстановлением коэрцитивной силы. Наконец, рабочую камеру 20
15 быстро охлаждают по существу до комнатной температуры и вынимают короб 2 из вакуумной камеры 12.

[0041] В этом варианте реализации настоящего изобретения был описан пример, в котором в качестве испаряющегося материала v используется DyH₂. Однако в том температурном интервале нагревания (интервал 900°C-1000°C) спеченного магнита S, который может увеличить скорость диффузии, могут использоваться содержащие Tb гидриды, у которых давление паров является низким, например, может использоваться TbH₂. Или же могут также использоваться гидриды, содержащие Dy и Tb. Было предусмотрено так, что использовали испаряющийся материал v в
25 объемной форме, имеющий небольшую удельную площадь поверхности, для того чтобы снизить количество испарений при определенной температуре. Однако не ограничиваясь этим, может быть предусмотрено так, что внутри ящика 21 размещают лоток, имеющий углубленную форму в поперечном сечении, для содержания в лотке
30 испаряющегося материала v в гранулированной форме или объемной форме, тем самым снижая удельную площадь поверхности. Кроме того, после помещения испаряющегося материала v в лоток может быть установлена крышка (не показана), имеющая множество отверстий.

[0042] В этом варианте реализации настоящего изобретения был описан пример, в котором спеченный магнит S и испаряющийся материал v располагали в рабочей камере 20. Однако для того чтобы обеспечить возможность нагрева спеченного магнита S и испаряющегося материала v при различных температурах, внутри вакуумной камеры 12 может быть предусмотрена испарительная камера (другая
40 рабочая камера, не показана), кроме рабочей камеры 20, и может быть предусмотрено другое нагревательное средство для нагревания испарительной камеры. После испарения испаряющегося материала v внутри испарительной камеры может быть устроено так, что испаряющийся материал v в атмосфере паров подается к спеченному магниту внутри рабочей камеры 20 через соединительный проход, который соединяет
45 вместе рабочую камеру 20 и испарительную камеру.

[0043] В данном случае, когда испаряющимся материалом v является DyH₂, испарительная камера может нагреваться в интервале 700°C-1050°C. При температуре ниже 700°C нельзя достигнуть давления паров, при котором испаряющийся материал v может подаваться к поверхности спеченного магнита S так, чтобы Dy мог диффундировать и равномерно проникать в зернограничную фазу. С другой стороны, в том случае, когда испаряющимся материалом v является TbH₂, испарительная камера может нагреваться в интервале 900°C-1150°C. При температуре ниже 900°C

нельзя достигнуть давления паров, при котором атомы Tb могут подаваться к поверхности спеченного магнита S. С другой стороны, при температуре выше 1150°C Tb диффундирует в зерна, и, таким образом, максимальное энергетическое произведение и остаточная магнитная индукция будут снижаться.

5 [0044] Кроме того, в этом варианте реализации настоящего изобретения был описан пример, в котором короб 2 образовывали, устанавливая крышку 22 на верхнюю сторону ящика 21. Однако если рабочая камера 20 изолирована от вакуумной камеры 12 и давление в ней может быть снижено наряду со снижением давления в
10 вакуумной камере 12, нет необходимости ограничиваться вышеуказанным примером. Например, после помещения спеченного магнита S внутрь ящика 21 его верхнее отверстие может быть покрыто выполненной из Mo фольгой. С другой стороны, может быть сконструировано так, что рабочая камера 20 может быть герметично закрыта внутри вакуумной камеры 12 с тем, чтобы поддерживаться при заданном
15 давлении независимо от вакуумной камеры 12.

[0045] В случае спеченного магнита S чем меньше содержание кислорода, тем больше становится скорость диффузии Dy и/или Tb в зернограничную фазу. Поэтому содержание кислорода в самом спеченном магните S может быть ниже 3000
20 миллионных долей (м.д.), предпочтительно - ниже 2000 м.д., а наиболее предпочтительно - ниже 1000 м.д..

Пример 1

[0046] В качестве спеченного магнита на основе Nd-Fe-B использовали магнит, состав сплава которого был 29Nd-3Dy-1B-2Co-0,1Cu-ост.Fe и который получали в
25 форме прямоугольного параллелепипеда 20×10×5 мм. В данном случае после чистовой обработки поверхности спеченного магнита S так, чтобы иметь шероховатость поверхности ниже 10 мкм, выполняли очистку с использованием ацетона.

[0047] Затем при использовании вышеописанного устройства 1 вакуумно-паровой
30 обработки получали постоянный магнит M путем вышеописанной вакуумно-паровой обработки. В данном случае 60 спеченных магнитов S размещали на равном расстоянии друг от друга на несущей сетке 21a внутри выполненного из Mo короба 2. Кроме того, в качестве испаряющегося материала использовали DyH₂ (изготовленный фирмой Wako Junyaku Kabushiki Kaisha) и TbH₂ (изготовленный фирмой Wako Junyaku
35 Kabushiki Kaisha) и размещали в общем количестве 100 г на нижней поверхности рабочей камеры 20. Затем путем включения вакуумирующего средства давление в вакуумной камере сразу снижали до 1×10⁻⁴ Па (давление внутри рабочей камеры составляло 5×10⁻³ Па) и с помощью нагревательного средства 3 температуру нагрева
40 в рабочей камере 20 устанавливали на 850°C (Пример 1a) в случае DyH₂ и на 1000°C (Пример 1b) в случае TbH₂. Затем, когда температура в рабочей камере 20 достигла 950°C, осуществляли вышеуказанную вакуумно-паровую обработку в данном состоянии в течение 1,8 часа или 18 часов. Затем проводили термообработку для
45 снятия напряжений в постоянном магните. В данном случае температуру термообработки устанавливали на 550°C, а время термообработки устанавливали на 60 минут. Наконец, с помощью электроэрозионного станка изготавливали в форме стержня 10×5 мм (диаметр) постоянный магнит, полученный при осуществлении
50 указанного выше способа.

[0048] На Фиг. 5 и 6 представлены таблицы, показывающие средние значения магнитных свойств, когда постоянные магниты получали вышеуказанной вакуумно-паровой обработкой при использовании Dy чистотой 99,9% в объемной форме в качестве испаряющегося материала (Сравнительный Пример 1a) и при

использовании Tb чистотой 99,9% в объемной форме в качестве испаряющегося материала (Сравнительный Пример 1b), в сравнении со средними значениями магнитных свойств, когда постоянные магниты получали вышеуказанной вакуумно-паровой обработкой в таких же условиях, как и в приведенных выше Примере 1a и Примере 1b. В соответствии с указанными таблицами в случае содержащего Dy испаряющегося материала в Сравнительном Примере 1a, в котором в качестве испаряющегося материала использовали Dy, чем больше становится время вакуумно-паровой обработки (время диффузии), тем больше становится коэрцитивная сила. Когда задавали время вакуумно-паровой обработки в 18 часов, получали высокую коэрцитивную силу в 24,3 кЭ. С другой стороны, в Примере 1a можно видеть, что высокую коэрцитивную силу в 24,3 кЭ получали менее чем за половину этого времени вакуумно-паровой обработки (8 часов), то есть с эффективным диффундированием Dy (смотри Фиг. 5).

[0049] В Сравнительном Примере 1b, в котором в качестве испаряющегося материала v использовали Tb, чем больше становится время вакуумно-паровой обработки (время диффузии), тем больше становится коэрцитивная сила. Когда задавали время вакуумно-паровой обработки в 18 часов, получали высокую коэрцитивную силу в 28,3 кЭ. С другой стороны, в Примере 1b можно видеть, что высокую коэрцитивную силу в 28,2 кЭ получали менее чем за половину этого времени вакуумно-паровой обработки (8 часов), то есть с эффективным диффундированием Tb (смотри Фиг. 6).

[0050] Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой схематический пояснительный вид в поперечном сечении постоянного магнита, изготовленного согласно данному изобретению;

Фиг. 2 представляет собой схематический вид устройства вакуумно-паровой обработки для осуществления обработки по данному изобретению;

Фиг. 3 представляет собой схематический пояснительный вид в поперечном сечении постоянного магнита, изготовленного согласно уровню техники;

Фиг. 4(a) представляет собой пояснительный вид, показывающий вызванное обработкой резанием ухудшение поверхности спеченного магнита, а Фиг. 4(b) - пояснительный вид, показывающий состояние поверхности постоянного магнита, изготовленного согласно данному изобретению.

Фиг. 5 представляет собой таблицу, показывающую магнитные свойства постоянного магнита, изготовленного в соответствии с Примером 1a; и

Фиг. 6 представляет собой таблицу, показывающую магнитные свойства постоянного магнита, изготовленного в соответствии с Примером 1b.

[0051] Описание ссылочных номеров и обозначений

1 - устройство вакуумно-паровой обработки

12 - вакуумная камера

20 - рабочая камера

2 - короб

21 - ящик

22 - крышка

3 - нагревательное средство

S - спеченный магнит

M - постоянный магнит

v - испаряющийся материал.

Формула изобретения

1. Способ изготовления постоянного магнита, включающий в себя:
нагревание спеченного магнита на основе железа-бора-редкоземельного элемента,
расположенного в рабочей камере, до заданной температуры;

испарение испаряющегося материала, расположенного в той же самой или другой
рабочей камере, причем этот испаряющийся материал включает в себя гидрид,
содержащий по меньшей мере один из Dy и Tb;

обеспечение сцепления испаренного испаряющегося материала с поверхностью
спеченного магнита и

диффундирование атомов металла по меньшей мере одного из Dy и Tb сцепленного
испаряющегося материала в зернограничную фазу спеченного магнита, причем
диффундирование атомов металла осуществляется прежде, чем на поверхности
спеченного магнита образуется тонкая пленка по меньшей мере одного из Dy и Tb

2. Способ изготовления постоянного магнита по п.1, в котором спеченный магнит
и испаряющийся материал располагают на расстоянии друг от друга.

3. Способ изготовления постоянного магнита по п.1 или 2, дополнительно
включающий в себя увеличение или снижение количества испарений при определенной
температуре за счет варьирования удельной площади поверхности расположенного в
рабочей камере испаряющегося материала, в результате чего регулируют подаваемое
количество испаренного испаряющегося материала к поверхности спеченного
магнита.

4. Способ изготовления постоянного магнита по п.1 или 2, дополнительно
включающий в себя, после того как атомы металла по меньшей мере одного из Dy
и Tb продиффундировали в зернограничную фазу спеченного магнита, проведение
термообработки для снятия напряжений в постоянном магните при заданной
температуре более низкой, чем упомянутая температура.

5. Способ изготовления постоянного магнита по п.1 или 2, дополнительно
включающий в себя, после того как атомы металла по меньшей мере одного из Dy
и Tb продиффундировали в зернограничную фазу спеченного магнита, разрезание
постоянного магнита до заданной толщины в направлении, перпендикулярном
направлению магнитного выравнивания.

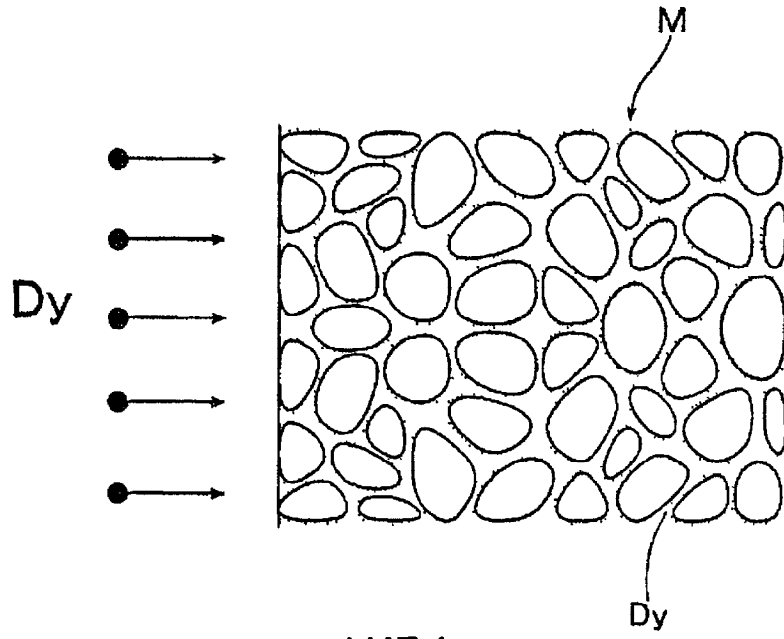
6. Постоянный магнит, изготовленный следующим способом:

спеченный магнит на основе железа-бора-редкоземельного элемента,
расположенный в рабочей камере, нагревают до заданной температуры;

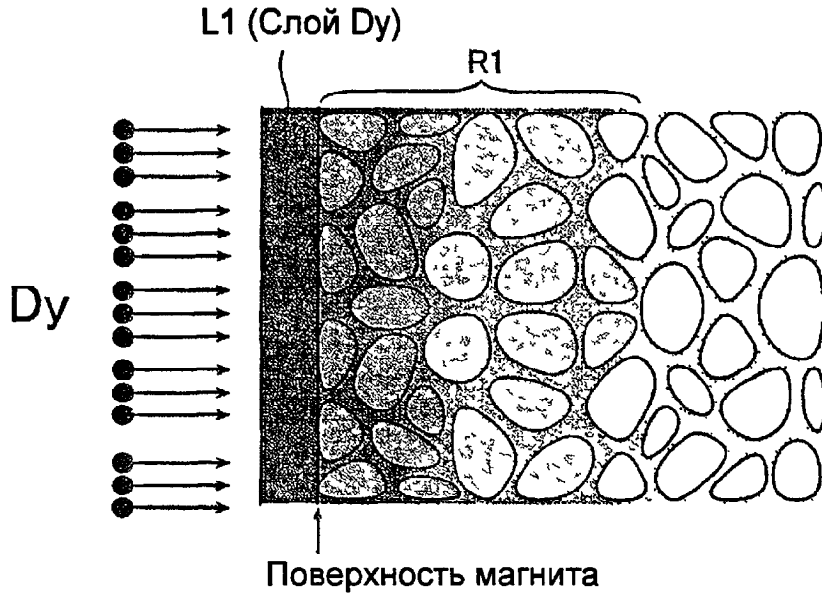
испаряющийся материал, расположенный в той же самой или другой рабочей
камере, нагревают для испарения испаряющегося материала, включающего в себя
гидрид, содержащий по меньшей мере один из Dy и Tb;

испаренный испаряющийся материал вынуждают сцепляться с поверхностью
спеченного магнита и

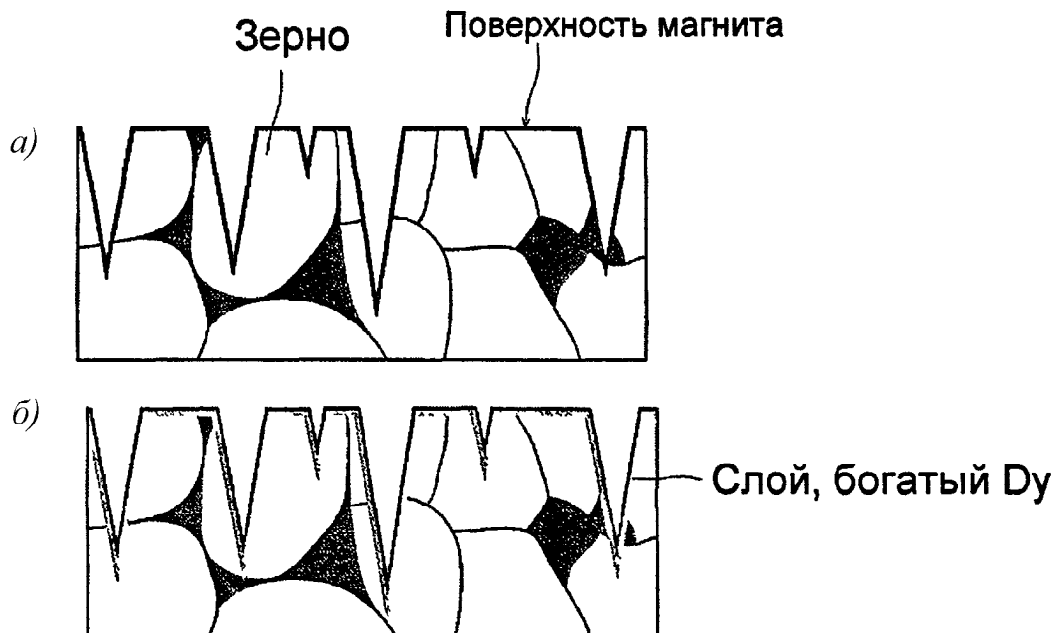
атомы металла по меньшей мере одного из Dy и Tb сцепленного испаряющегося
материала диффундируют в зернограничную фазу спеченного магнита, причем это
диффундирование атомов металла осуществляется прежде, чем на поверхности
спеченного магнита образуется тонкая пленка по меньшей мере одного из Dy и Tb.



ФИГ.1



ФИГ.3



ФИГ.4

	Испаряемый источник	Время паровой обработки (ч)	B _r (кГс)	iH _c (кЭ)	(BH) _{max} (МГсЭ)	(BH) _{max} +iH _c
Сравнительный Пример 1а	нет	0	136	15.8	44.7	60.5
	Dy	1	136	18.9	45.1	64.0
	Dy	8	136	20.5	45.0	65.5
	Dy	18	13.6	24.3	44.7	69.0
Пример 1а	DyH ₂	1	136	20.9	45.0	65.9
	DyH ₂	8	136	24.3	45.1	69.4
	DyH ₂	18	136	24.2	45.1	69.3

ФИГ.5

	Испаряемый источник	Время паровой обработки (ч)	B _r (кГс)	iH _c (кЭ)	(BH) _{max} (МГсЭ)	(BH) _{max} +iH _c
Сравнительный Пример 1а	нет	0	136	15.8	44.7	60.5
	Tb	1	136	20.9	45.2	66.1
	Tb	7	13.6	23.5	45.2	68.7
	Tb	18	136	28.3	45.1	73.4
Пример 1б	TbH ₂	1	13.6	25.3	45.1	70.4
	TbH ₂	7	136	28.2	45.0	73.2
	TbH ₂	18	13.6	28.4	45	73.4

ФИГ.6