

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042968**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.04.11

(21) Номер заявки
202192058

(22) Дата подачи заявки
2019.12.17

(51) Int. Cl. **H02K 1/18** (2006.01)
H01F 27/24 (2006.01)
H01F 27/245 (2006.01)
H01F 41/02 (2006.01)
H02K 15/02 (2006.01)

(54) **ШИХТОВАННЫЙ СЕРДЕЧНИК, СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ И
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ**

(31) **2018-235868**

(32) **2018.12.17**

(33) **JP**

(43) **2021.11.24**

(86) **PCT/JP2019/049312**

(87) **WO 2020/129948 2020.06.25**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН
(JP)**

(72) Изобретатель:
**Такатани Синсукэ, Фудзии Хироюсу,
Такеда Кадзутоси (JP)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) JP-A-201711863
JP-A-20104716
JP-A-2001115125
JP-A-20175906
JP-A-3247683
JP-B2-4143090
JP-A-63207639
JP-A-60170681
JP-A-2003206464
JP-A-2011195735
JP-A-7118620
WO-A1-2019188284

(57) Шихтованный сердечник включает в себя множество листов электротехнической стали, которые уложены пакетом друг на друга и обе поверхности каждого из которых покрыты изоляционным покрытием; и клеевую часть, которая предусматривается между листами электротехнической стали, соседними в направлении укладки, и приклеивает листы электротехнической стали друг к другу, при этом клеящий материал для формирования клеевой части включает в себя первую фазу и вторую фазу, при этом клеевая часть имеет структуру типа "море-остров" из первой фазы, которая является "морским" фрагментом структуры, и второй фазы, которая является "островным" фрагментом структуры, при этом первая фаза содержит эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент, при этом первая фаза имеет SP-значение, равное $8,5-10,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$, при этом вторая фаза содержит эластомер, при этом вторая фаза имеет SP-значение, равное $7,5-8,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$.

B1**042968****042968****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к шихтованному сердечнику, способу его изготовления и электродвигателю.

Данная заявка притязает на приоритет заявки на патент (Япония) № 2018-235868, зарегистрированной 17 декабря 2018 г., содержимое которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Предпосылки создания изобретения

В предшествующем уровне техники известен шихтованный сердечник, описанный в нижеприведенном патентном документе 1. В этом шихтованном сердечнике листы электротехнической стали, соседние в направлении укладки, приклеиваются друг к другу.

Список библиографических ссылок

Патентные документы.

Патентный документ 1.

Не прошедшая экспертизу заявка на патент (Япония), первая публикация № 2011-023523.

Сущность изобретения

Проблемы, разрешаемые изобретением.

Имеется запас для улучшения в магнитных свойствах шихтованного сердечника предшествующего уровня техники.

Настоящее изобретение было осуществлено с учетом вышеизложенных обстоятельств, и цель настоящего изобретения заключается в том, чтобы улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника.

Средство решения проблемы.

Чтобы разрешать вышеуказанные проблемы, настоящее изобретение предлагает следующие средства.

(1) Первый аспект настоящего изобретения является шихтованным сердечником, который включает в себя

множество листов электротехнической стали, которые уложены пакетом и обе поверхности каждого из которых покрыты изоляционным покрытием; и

клеевую часть, которая предусматривается между листами электротехнической стали, соседними в направлении укладки, и приклеивает листы электротехнической стали друг к другу,

при этом клеящий материал для формирования клеевой части включает в себя первую фазу и вторую фазу,

при этом клеевая часть имеет структуру типа "море-остров" из первой фазы, которая является "морским" фрагментом структуры, и второй фазы, которая является "островным" фрагментом структуры,

при этом первая фаза содержит эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент,

при этом первая фаза имеет SP-значение, равное $8,5-10,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$,

при этом вторая фаза содержит эластомер, и

при этом вторая фаза имеет SP-значение, равное $7,5-8,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$.

(2) В шихтованном сердечнике по (1) разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы может составлять $0,1-3,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$.

(3) В шихтованном сердечнике по (1) или (2) количество первой фазы может составлять 50% по объему или больше относительно суммарного объема клеевой части.

(4) В шихтованном сердечнике по любому из (1)-(3) количество эпоксидной смолы может составлять 50% по объему или больше относительно суммарного объема первой фазы.

(5) В шихтованном сердечнике по любому из (1)-(4) количество акриловой смолы может составлять 5-45% по объему относительно суммарного объема первой фазы.

(6) В шихтованном сердечнике по любому из (1)-(5) количество отверждающего агента может составлять 1-40% по объему относительно суммарного объема первой фазы.

(7) В шихтованном сердечнике по любому из (1)-(6) отверждающий агент может быть новолачной феноловой смолой.

(8) Шихтованный сердечник по любому из (1)-(7) может быть предназначен для статора.

(9) Второй аспект настоящего изобретения является способом производства шихтованного сердечника по любому из (1)-(8), который включает в себя

нанесение клеящего материала, который включает в себя первую фазу, содержащую эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент, и вторую фазу, содержащую эластомер, на поверхность листа электротехнической стали;

укладку пакетом множества листов электротехнической стали; и отверждение клеящего материала, чтобы формировать клеевую часть.

(10) Третий аспект настоящего изобретения является электродвигателем, содержащим шихтованный сердечник согласно любому из (1)-(8).

Преимущества изобретения.

Согласно настоящему изобретению возможно улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 является видом в сечении электродвигателя, включающего в себя шихтованный сердечник согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 является видом сбоку шихтованного сердечника, показанного на фиг. 1.

Фиг. 3 является видом в поперечном разрезе по линии А-А на фиг. 2.

Фиг. 4 является видом сбоку, показывающим схематичную конфигурацию устройства для производства шихтованного сердечника.

Варианты осуществления для реализации изобретения

В дальнейшем в этом документе описывается шихтованный сердечник согласно варианту осуществления настоящего изобретения и электродвигатель, включающий в себя шихтованный сердечник, со ссылкой на чертежи. В настоящем варианте осуществления электродвигатель, конкретно электродвигатель переменного тока, более конкретно синхронный электродвигатель, еще более конкретно электродвигатель с возбуждением постоянными магнитами описывается в качестве примера электродвигателя. Этот тип электродвигателя надлежащим образом используется, например, для электротранспортного средства и т.п.

Как показано на фиг. 1, электродвигатель 10 включает в себя статор 20, ротор 30, кожух 50 и вращательный вал 60. Статор 20 и ротор 30 помещаются в кожух 50. Статор 20 крепится к кожуху 50.

В настоящем варианте осуществления в качестве электродвигателя 10 используется электродвигатель с внутренним ротором, в котором ротор 30 расположен в статоре 20. Тем не менее в качестве электродвигателя 10 может использоваться электродвигатель с внешним ротором, в котором ротор 30 расположен за пределами статора 20. Дополнительно в настоящем варианте осуществления электродвигатель 10 представляет собой электродвигатель трехфазного переменного тока с двенадцатью полюсами и восемнадцатью прорезями. Тем не менее число полюсов, число прорезей, число фаз и т.п. может изменяться надлежащим образом.

Например, когда ток возбуждения, имеющий эффективное значение 10 и частоту 100 Гц, прикладывается к каждой фазе, электродвигатель 10 может вращаться со скоростью вращения 1000 об/мин.

Статор 20 включает в себя сердечник 21 статора и обмотку (не показана).

Сердечник 21 статора включает в себя кольцевую часть 22 спинки сердечника и множество зубчатых частей 23. В дальнейшем в этом документе направление центральной оси О сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) называется "осевым направлением", радиальное направление сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) (направление, ортогональное к центральной оси О) называется "радиальным направлением" и окружное направление сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) (направление вращения вокруг центральной оси О) называется "окружным направлением".

Часть 22 спинки сердечника имеет круглую форму при виде сверху статора 20 в осевом направлении.

Множество зубчатых частей 23 выступают внутрь из части 22 спинки сердечника в радиальном направлении (к центральной оси О части 22 спинки сердечника в радиальном направлении). Множество зубчатых частей 23 располагаются с равными интервалами в окружном направлении. В настоящем варианте осуществления восемнадцать зубчатых частей 23 предоставляются через каждые 20° с точки зрения центрального угла, центрированного на центральной оси О. Множество зубчатых частей 23 формируются с возможностью иметь идентичную форму и идентичный размер.

Обмотка обматывается вокруг зубчатых частей 23. Обмотка может представлять собой концентрированную обмотку или распределенную обмотку.

Ротор 30 располагается в статоре 20 (сердечнике 21 статора) в радиальном направлении. Ротор 30 включает в себя сердечник 31 ротора и множество постоянных магнитов 32.

Сердечник 31 ротора располагается коаксиально со статором 20 таким образом, что он образует кольцевую форму (круглую форму). Вращательный вал 60 располагается в сердечнике 31 ротора. Вращательный вал 60 закрепляется к сердечнику 31 ротора.

Множество постоянных магнитов 32 закрепляются к сердечнику 31 ротора. В настоящем варианте осуществления набор из двух постоянных магнитов 32 формирует один магнитный полюс. Множество наборов постоянных магнитов 32 располагаются с равными интервалами в окружном направлении. В настоящем варианте осуществления двенадцать наборов (двадцать четыре всего) постоянных магнитов 32 предоставляются через каждые 30° с точки зрения центрального угла, центрированного на центральной оси О.

В настоящем варианте осуществления в качестве электродвигателя с возбуждением постоянными магнитами используется электродвигатель с внутренними постоянными магнитами.

В сердечнике 31 ротора формируются множество сквозных отверстий 33, которые проходят через сердечник 31 ротора в осевое направление. Множество сквозных отверстий 33 предусматриваются соответствующими множеству постоянных магнитов 32. Каждый постоянный магнит 32 прикрепляется к сердечнику 31 ротора в состоянии размещения в соответствующем сквозном отверстии 33. Например,

внешняя поверхность постоянного магнита 32 и внутренняя поверхность сквозного отверстия 33 приклеиваются друг к другу клеящим материалом, и таким образом может быть реализовано прикрепление каждого постоянного магнита 32 к сердечнику 31 ротора. В качестве постоянного магнитного электродвигателя электродвигатель с поверхностными постоянными магнитами может использоваться вместо электродвигателя с внутренними постоянными магнитами.

Каждый из сердечника 21 статора и сердечника 31 ротора представляет собой шихтованный сердечник. Как показано на фиг. 2, статор 20 формируется посредством укладки множества листов 40 электротехнической стали.

Толщина укладки каждого сердечника 21 статора и сердечника 31 ротора, например, составляет 50,0 мм. Внешний диаметр сердечника 21 статора, например, составляет 250,0 мм. Внутренний диаметр сердечника 21 статора, например, составляет 165,0 мм. Внешний диаметр сердечника 31 ротора, например, составляет 163,0 мм. Внутренний диаметр сердечника 31 ротора, например, составляет 30,0 мм. Тем не менее эти значения представляют собой примеры и толщина укладки, внешний диаметр и внутренний диаметр сердечника 21 статора и толщина укладки, внешний диаметр и внутренний диаметр сердечника 31 ротора не ограничены этими значениями. Здесь внутренний диаметр сердечника 21 статора основан на конце вершины каждой из зубчатых частей 23 сердечника 21 статора. Внутренний диаметр сердечника 21 статора представляет собой диаметр виртуальной окружности, вписываемой на концах вершин всех зубчатых частей 23.

Каждый лист 40 электротехнической стали для формирования сердечника 21 статора и сердечника 31 ротора формируется, например, посредством процесса вырубki листа электротехнической стали в качестве основного материала. Известный лист электротехнической стали может использоваться в качестве листа 40 электротехнической стали. Химический состав листа 40 электротехнической стали не ограничен конкретным образом. В настоящем варианте осуществления в качестве листа 40 электротехнической стали используется лист электротехнической стали без ориентированной зеренной структуры. В качестве листа электротехнической стали без ориентированной зеренной структуры, например, может использоваться полоса электротехнической стали без ориентированной зеренной структуры по JIS C 2552:2014.

Тем не менее в качестве листа 40 электротехнической стали лист электротехнической стали с ориентированной зеренной структурой также может использоваться вместо листа электротехнической стали без ориентированной зеренной структуры. В качестве листа электротехнической стали с ориентированной зеренной структурой, например, может использоваться полоса электротехнической стали с ориентированной зеренной структурой по JIS C 2553:2012.

Обе поверхности листа 40 электротехнической стали покрыты изоляционным покрытием для улучшения обрабатываемости листа электротехнической стали и уменьшения потерь в стали шихтованного сердечника. В качестве вещества, составляющего изоляционное покрытие, например, может применяться

- (1) неорганическое соединение,
- (2) органический полимер,
- (3) смесь неорганического соединения и органического полимера и т.п.

Примеры неорганического соединения включают в себя

- (1) комплексное соединение бихромата и борной кислоты,
- (2) комплексное соединение фосфата и диоксида кремния и т.п.

Примеры органического полимера включают в себя эпоксидную смолу, акриловую смолу, акриловую стирольную смолу, полиэфирную смолу, силиконовую смолу, фтористую смолу и т.п.

Органический полимер может быть идентичным или отличающимся от органического полимера, содержащегося в клеящем материале, описанном ниже.

Чтобы обеспечивать рабочие характеристики изоляции между листами 40 электротехнической стали, укладываемыми пакетом, толщина изоляционного покрытия (толщина в расчете на одну поверхность листа 40 электротехнической стали) предпочтительно составляет 0,1 мкм или больше.

С другой стороны, по мере того как изоляционное покрытие становится более толстым, изоляционный эффект становится насыщенным. Дополнительно, по мере того как изоляционное покрытие становится более толстым, коэффициент заполнения уменьшается и рабочие характеристики для использования в качестве шихтованного сердечника ухудшаются. Следовательно, предпочтительно формировать изоляционное покрытие максимально возможно тонким в диапазоне, в котором могут обеспечиваться рабочие характеристики изоляции. Толщина изоляционного покрытия (толщина в расчете на одну поверхность электрического стального листа 40) предпочтительно составляет 0,1 мкм или больше и 5 мкм или меньше и более предпочтительно 0,1 мкм или больше и 2 мкм или меньше.

Можно измерять толщину изоляционного покрытия, например, наблюдая поверхность среза листа 40 электротехнической стали, разрезанного в направлении толщины, с помощью микроскопа или т.п.

По мере того как лист 40 электротехнической стали становится более тонким, эффект уменьшения потерь в стали постепенно становится насыщенным. Дополнительно, по мере того как лист 40 электротехнической стали становится более тонким, затраты на изготовление листа 40 электротехнической стали увеличиваются. Следовательно, с учетом эффекта уменьшения потерь в стали и затрат на изготовление толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 0,10 мм или больше.

С другой стороны, если лист 40 электротехнической стали является слишком толстым, операция вырубки прессованием листа 40 электротехнической стали становится затруднительной. Следовательно, с учетом операции вырубки прессованием листа 40 электротехнической стали, толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 0,65 мм или меньше.

Дополнительно, по мере того как лист 40 электротехнической стали становится толстым, потери в стали увеличиваются. Следовательно, с учетом характеристик потерь в стали листа 40 электротехнической стали толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно равна 0,35 мм или меньше, более предпочтительно 0,25 мм или меньше и еще более предпочтительно 0,20 мм или меньше.

С учетом вышеуказанных аспектов толщина каждого листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет, например, 0,10 мм или больше и 0,65 мм или меньше, более предпочтительно 0,10 мм или больше и 0,35 мм или меньше, еще более предпочтительно 0,10 мм или больше и 0,25 мм или меньше и, в частности, предпочтительно 0,10 мм или больше и 0,20 мм или меньше. Толщина листа 40 электротехнической стали также включает в себя толщину изоляционного покрытия.

Толщина листа 40 электротехнической стали может измеряться, например, посредством микрометра и т.п.

Как показано на фиг. 3, множество листов 40 электротехнической стали для формирования сердечника 21 статора укладываются поверх друг друга через клеевую часть 41. Клеевая часть 41 формируется в части 22 спинки сердечника для сердечника 21 статора и зубчатых частях 23. Клеевая часть 41 формируется как 41a, 41b и 41c от внутренней окружности части 22 спинки сердечника по направлению внутрь в радиальном направлении (по направлению к центральной оси О части 22 спинки сердечника в радиальном направлении). Клеевые части 41b и 41c формируются в каждой из множества зубчатых частей 23. Клеевая часть 41a формируется в каждой части 22 спинки сердечника в позиции, соответствующей каждой из множества зубчатых частей 23.

Клеевая часть 41 формируется из клеящего материала, который включает в себя первую фазу и вторую фазу.

Клеевая часть 41 имеет структуру типа "море-остров" из первой фазы и второй фазы. Здесь "структура типа море-остров" означает структуру разделения фаз, в которой фаза ("островной" фрагмент структуры), включающая в себя один компонент, диспергируется в фазе ("морской" фрагмент структуры), включающей в себя другой компонент.

В листе 40 электротехнической стали настоящего варианта осуществления, так как клеевая часть 41 имеет структуру типа "море-остров", легко смягчать натяжение, возникающее в листе 40 электротехнической стали. Посредством смягчения натяжения, возникающего в листе 40 электротехнической стали, легко уменьшать гистерезисные потери и в результате возможно улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника. Считается, что структура типа "море-остров" отвержденного изделия из первой фазы, которая является твердой, и второй фазы, которая является мягкой, легко поглощает натяжение, возникающее в листе 40 электротехнической стали, и таким образом натяжение, возникающее в листе 40 электротехнической стали, может быть смягчено.

Гистерезисные потери ссылаются на энергетические потери, вызванные изменением в направлении магнитного поля шихтованного сердечника. Гистерезисные потери являются типом потерь в стали.

В клеевой части 41 настоящего варианта осуществления первая фаза формирует "морской" фрагмент структуры, который является диспергирующей фазой, а вторая фаза формирует "островной" фрагмент структуры, который является диспергированной фазой. Между первой фазой и второй фазой фаза, которая формирует "морской" фрагмент структуры, определяется с помощью вязкости и количества фазы. В клеевой части 41 настоящего варианта осуществления первая фаза, которая имеет более низкую вязкость и большее количество по сравнению со второй фазой, формирует "морской" фрагмент структуры, который является диспергирующей фазой, т.е. две фазы клеевого материала расположены на каждом из множества листов таким образом, чтобы первая фаза представляла единую связанную область, а вторая фаза распределена так, чтобы представлять множество несвязанных друг с другом областей.

Клеящий материал для формирования клеевой части 41 включает в себя первую фазу и вторую фазу.

Первая фаза содержит эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент. В качестве отвержденного продукта первой фазы акрилированная эпоксидная смола, полученная посредством привитой полимеризации акриловой смолы эпоксидной смолой, является предпочтительной с точки зрения легкости увеличения прочности склеивания клеевой части 41.

Клеящий материал стимулируется к отверждению, например, посредством нагрева до 80°C или выше при нормальном давлении, чтобы становиться отвержденным продуктом. Здесь "нормальное давление" относится к давлению, когда ни снижение давления, ни повышение давления не выполняется, и обычно оно равно приблизительно 1 атм (0,1 МПа).

Количество первой фазы предпочтительно равно 50% по объему или более, более предпочтительно 50-95% по объему, еще более предпочтительно 60-90% по объему и особенно предпочтительно 70-80% по объему относительно суммарного объема клеящего материала. Когда количество первой фазы равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41. Когда количество первой фазы равно вышеуказанному верхнему предельному значению

нию или меньше, легко смягчать натяжение, возникающее в листе 40 электромеханической стали.

Количество первой фазы является отношением объема первой фазы к суммарному объему клеящего материала при температуре 25°C.

SP-значение (solubility parameter - параметр растворимости) первой фазы равно 8,5-10,7 (кал/см³)^{1/2}, предпочтительно 8,7-10,5 (кал/см³)^{1/2}, а более предпочтительно 9,0-10,0 (кал/см³)^{1/2}. Когда SP-значение первой фазы равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, клеевой части 41 легко формировать структуру типа "море-остров" со второй фазой. Когда SP-значение первой фазы равно вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко наносить клеящий материал на поверхность листа 40 электротехнической стали.

В настоящем описании "SP-значение" означает параметр Гильдебранда.

Представляется возможным измерять SP-значение первой фазы, например, следующим способом. Композиция смолы, составляющая первую фазу, наносится на поверхность электротехнической стали без ориентированной зеренной структуры и нагревается до 120°C для отверждения. Когда различные растворители с известными SP-значениями растираются о полученный отвердевший продукт, отвердевший продукт первой фазы растворяется в растворителе и таким образом растворитель изменяет цвет, SP-значение растворителя устанавливается в SP-значение первой фазы.

Примеры известных растворителей с известными SP-значениями включают в себя n-пентан (SP-значение: 7,0 (кал/см³)^{1/2}), n-гексан (SP-значение: 7,3 (кал/см³)^{1/2}), диэтиловый эфир (SP-значение: 7,4 (кал/см³)^{1/2}), n-октан (SP-значение: 7,6 (кал/см³)^{1/2}), винилхлорид (SP-значение: 7,8 (кал/см³)^{1/2}), циклогексан (SP-значение: 8,2 (кал/см³)^{1/2}), изобутилацетат (SP-значение: 8,3 (кал/см³)^{1/2}), изопропилацетат (SP-значение: 8,4 (кал/см³)^{1/2}), бутилацетат (SP-значение: 8,5 (кал/см³)^{1/2}), тетрахлорид углерода (SP-значение: 8,6 (кал/см³)^{1/2}), метилпропилкетон (SP-значение: 8,7 (кал/см³)^{1/2}), ксилен (SP-значение: 8,8 (кал/см³)^{1/2}), толуол (SP-значение: 8,9 (кал/см³)^{1/2}), этилацетат (SP-значение: 9,1 (кал/см³)^{1/2}), бензол (SP-значение: 9,2 (кал/см³)^{1/2}), метилэтилкетон (SP-значение: 9,3 (кал/см³)^{1/2}), хлорид метилена (SP-значение: 9,7 (кал/см³)^{1/2}), ацетон (SP-значение: 9,9 (кал/см³)^{1/2}), дисульфид углерода (SP-значение: 10,0 (кал/см³)^{1/2}), уксусную кислоту (10,1 (кал/см³)^{1/2}), n-гексанол (SP-значение: 10,7 (кал/см³)^{1/2}) и т.п.

SP-значение первой фазы может быть отрегулировано с помощью типа и количества эпоксидной смолы, составляющей первую фазу, типа и количества акриловой смолы, типа и количества отверждающего агента и т.п.

Среднечисловой молекулярный вес эпоксидной смолы в первой фазе предпочтительно равен 1200-20000, более предпочтительно 2000-18000, а еще более предпочтительно 2500-16000. Когда среднечисловой молекулярный вес эпоксидной смолы равен вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41. Когда среднечисловой молекулярный вес эпоксидной смолы равен вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко увеличивать устойчивость клеевой части 41.

Среднечисловой молекулярный вес эпоксидной смолы может измеряться посредством эксклюзионной хроматографии размеров (SEC), описанной в JIS K 7252-1:2008, с использованием полистирола в качестве стандартного вещества.

Примеры эпоксидной смолы включают в себя эпоксидные смолы, полученные посредством конденсации эпихлоргидрина и бисфенола в присутствии щелочного катализатора, эпоксидные смолы, полученные посредством конденсации эпихлоргидрина и бисфенола в низкомолекулярную эпоксидную смолу в присутствии щелочного катализатора и подвергания низкомолекулярной эпоксидной смолы и бисфенола для реакции тяжелого присоединения, и т.п. Здесь "низкомолекулярная эпоксидная смола" означает эпоксидную смолу, имеющую среднечисловой молекулярный вес, меньший 1200.

Эпоксидная смола может представлять собой эпоксиэфирную смолу, в которой комбинируется двухвалентная карбоновая кислота. Примеры двухвалентной карбоновой кислоты включают в себя янтарную кислоту, адипиновую кислоту, пимелиновую кислоту, азелаиновую кислоту, себациновую кислоту, дооктандикарбоновую кислоту, гексагидрофталевую кислоту и т.п.

Примеры бисфенола включают в себя бисфенол А, бисфенол F, бисфенол AD и т.п., и бисфенол А и бисфенол F являются предпочтительными.

Примеры щелочного катализатора включают в себя гидрооксид натрия, гидрооксид калия и т.п.

Среди этих эпоксидных смол один тип может использоваться отдельно или два или более типов могут использоваться в комбинации.

Количество эпоксидной смолы предпочтительно равно 50% по объему или более, более предпочтительно 50-94% по объему, еще более предпочтительно 55-90% по объему и особенно предпочтительно 60-80% по объему относительно суммарного объема первой фазы. Когда количество эпоксидной смолы равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41. Когда количество эпоксидной смолы равно вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко смягчать натяжение, возникающее в листе 40 электромеханической стали.

Количество эпоксидной смолы является отношением объема эпоксидной смолы к суммарному объ-

ему первой фазы перед отверждением при температуре 25°C.

Среднечисловой молекулярный вес акриловой смолы в первой фазе предпочтительно равен 5000-100000, более предпочтительно 6000-80000, а еще более предпочтительно 7000-60000. Когда среднечисловой молекулярный вес акриловой смолы равен вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41.

Когда среднечисловой молекулярный вес акриловой смолы равен вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко предохранять клеящий материал от становления очень вязким и легко наносить клеящий материал на поверхность листа 40 электротехнической стали.

Среднечисловой молекулярный вес акриловой смолы может измеряться посредством способа, идентичного способу для среднечислового молекулярного веса эпоксидной смолы.

Примеры акриловой смолы включают в себя акриловую смолу, полученную посредством полимеризации или сополимеризации по меньшей мере одной кислоты, выбранной из ненасыщенных карбоновых кислот, таких как акриловая кислота, метакриловая кислота, малеиновая кислота, итаконовая кислота и кротоновая кислота, акриловую смолу, полученную посредством сополимеризации по меньшей мере одного мономера, выбранного из ненасыщенных карбоновых кислот, и по меньшей мере одного мономера, выбранного из следующих радикально полимеризующихся ненасыщенных мономеров, и т.п.

Примеры радикально полимеризующегося ненасыщенного мономера включают в себя

(1) эфир гидроксикарбоната, в котором число атомов углерода для акрилата или метакрилата равно 1-8, такой как 2-гидроксиэтилакрилат, 2-гидроксиэтилметакрилат, гидроксипропилакрилат и гидроксипропилметакрилат,

(2) эфир алкила или эфир циклоалкила, в котором число атомов углерода для акрилата или метакрилата равно 1-24, такой как метилакрилат, метилметилакрилат, этилакрилат, этилметилакрилат, n-бутилакрилат, n-бутилметакрилат, изобутилакрилат, изобутилметакрилат, трет-бутилакрилат, трет-бутилметакрилат, циклогексилакрилат, циклогексилметакрилат, 2-этилгексилакрилат, 2-этилгексилметакрилат, лаурилакрилат, лаурилметакрилат, стеарилакрилат, стеарилметакрилат и децилакрилат,

(3) функциональный акриламид или функциональный метакриламид, такой как акриламид, метакриламид, N-метакрилакриламид, N-этилакриламид, диацетонакриламид, N-метилолакриламид, N-метилолметакриламид, N-метоксиметилакриламид и N-бутоксиметилакриламид,

(4) ароматический виниловый мономер, такой как стирол, винилтолуол и α -метилстирол,

(5) алифатический виниловый мономер, такой как винилацетат, винилпропионат, акрилонитрил и метакриловая кислота, и т.п.

Примеры предпочтительной комбинации вышеуказанных ненасыщенных мономеров включают в себя, например, комбинацию метилметакрилата, 2-этилгексилакрилата и акриловой кислоты, комбинацию стирола, метилметакрилата, этилакрилата и метакриловой кислоты, комбинацию стирола, этилакрилата и метакриловой кислоты, комбинацию метилметакрилата, этилакрилата и акриловой кислоты и т.п.

Модифицированная акрилом эпоксидная смола (далее также именуемая "привитым продуктом"), полученная привитой полимеризацией акриловой смолы с эпоксидной смолой, получается, например, посредством реакции привитой полимеризации вышеупомянутого радикально полимеризуемого ненасыщенного мономера с высокомолекулярной эпоксидной смолой в присутствии генератора радикалов, такого как перекись бензоила, в растворе органического растворителя. Здесь "высокомолекулярная эпоксидная смола" означает эпоксидную смолу, имеющую среднечисловой молекулярный вес в 1200 или больше.

Генератор радикалов, используемый в реакции привитой полимеризации, предпочтительно составляет 3-15 частей по массе относительно 100 частей по массе содержания твердых веществ радикально полимеризуемого ненасыщенного мономера.

Вышеупомянутая реакция привитой полимеризации может быть проведена, например, путем добавления радикально полимеризуемого ненасыщенного мономера, в котором генератор радикалов однородно примешан к раствору высокомолекулярной эпоксидной смолы в органическом растворителе, нагретому до температуры от 80 до 150°C в течение от 1 до 3 ч, и поддержания той же температуры от 1 до 3 ч.

Органический растворитель, используемый в реакции привитой полимеризации, может представлять собой любой органический растворитель, который растворяет высокомолекулярную эпоксидную смолу и радикально полимеризующийся ненасыщенный мономер и может смешиваться с водой.

Примеры такого органического растворителя включают в себя спиртовой растворитель, такой как изопропанол, бутиловый спирт, 2-гидрокси-4-метилпентан, 2-этилгексиловый спирт, циклогексанол, этиленгликоль, диэтиленгликоль, 1,3-бутиленгликоль, простой моноэтиловый эфир этиленгликоля, простой монобутиловый эфир этиленгликоля и простой монометиловый эфир диэтиленгликоля, кетоновый растворитель, такой как ацетоновый и метилэтилкетон, целлозольвовый растворитель и карбитоловый растворитель. Кроме того, также можно использовать инертный органический растворитель, который не смешивается с водой, и примеры такого органического растворителя включают в себя ароматические углеводороды, такие как толуол и ксилол, и сложные эфиры, такие как этилацетат и бутилацетат.

Количество акриловой смолы предпочтительно равно 5-45% по объему, более предпочтительно 10-40% по объему, а еще более предпочтительно 15-30% по объему относительно суммарного объема первой фазы. Когда количество акриловой смолы равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41. Когда количество акриловой смолы равно вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко стабилизировать SP-значение первой фазы.

Количество акриловой смолы является отношением объема акриловой смолы к суммарному объему первой фазы перед отверждением при температуре 25°C.

В качестве отверждающего агента в первой фазе может быть использован широко используемый отверждающий агент эпоксидной смолы. В качестве отверждающего агента в первой фазе может быть использован, например, по меньшей мере один из

полиаминового отверждающего агента, такого как алифатический полиамин, алициклический полиамин, ароматический полиамин, полиамидный полиамин и модифицированный полиамин;

отверждающего агента на основе ангидрида кислоты, такого как монофункциональный ангидрид кислоты (фталиевый ангидрид, гексагидрофталиевый ангидрид, метилтетрагидрофталиевый ангидрид, метилгексагидрофталиевый ангидрид, метилнадиангидрид, хлорэндиковый ангидрид и т.п.), бифункциональный ангидрид кислоты (ангидрид пиромеллитовой кислоты, ангидрид бензофенолтетракарбонкислоты, этиленгликольбис (ангидротримеллитат), ангидрид метилциклогексентетракарбонкислоты, и т.п.) и ангидрид свободной кислоты (тримеллитовый ангидрид, ангидрид полиацетиленовой кислоты и т.п.);

содержащего метилольную группу первоначального конденсата, такого как феноловая смола новолачного типа или резольного типа, карбомидная смола и меламина смола;

скрытого отверждающего агента; и т.п.

Примеры скрытого отверждающего агента включают в себя дициандиамид, меламин, дигидразиды органической кислоты, аминимиды, кетимины, амины третичной степени, соли имидазола, аминные соли трехфтористого бора, отверждающий агент микрокапсульного типа (отверждающий агент инкапсулируется в микрокапсуле, сформированной из казеина или т.п., микрокапсула разрушается посредством нагрева и повышения давления, и отверждающий агент подвергается реакции отверждения со смолой), отверждающий агент типа молекулярного сита (отверждающий агент поглощается на поверхности адсорбционного состава, поглощенные молекулы выпускаются посредством нагрева и отверждающий агент подвергается реакции отверждения со смолой) и т.п.

В качестве отверждающего агента новолачная феноловая смола (феноловая новолачная смола) является предпочтительной с точки зрения легкого увеличения прочности склеивания клеевой части 41. Здесь "новолачная феноловая смола" означает смолу, полученную посредством подвергания фенолов и альдегидов реакции конденсации с использованием кислотного катализатора.

Примеры фенолов включают в себя фенол.

Примеры альдегидов включают в себя формальдегид.

Примеры кислотного катализатора включают в себя щавелевую кислоту и соль двухвалентных металлов.

Новолачная феноловая смола является твердой при комнатной температуре (25°C) и классифицируется в качестве термопластической смолы. В новолачной феноловой смоле едва ли какие-либо -CH₂OH-группы связываются с фенольным ядром (ароматическим кольцом), составляющим феноловую смолу.

Количество отверждающего агента предпочтительно равно 1-40% по объему, более предпочтительно 5-30% по объему, а еще более предпочтительно 10-20% по объему относительно суммарного объема первой фазы. Когда количество отверждающего агента равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41. Когда количество отверждающего агента равно вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко увеличивать устойчивость клеевой части 41.

Количество отверждающего агента является отношением объема отверждающего агента к суммарному объему первой фазы перед отверждением при температуре 25°C.

Вторая фаза содержит эластомер. Примеры эластомера включают в себя натуральные каучуки и синтетические каучуки, и синтетический каучук является предпочтительным.

Примеры синтетических каучуков включают в себя полибутадиеновый синтетический каучук, нитрильный синтетический каучук, хлоропреновый синтетический каучук и т.п.

Примеры полибутадиенового синтетического каучука включают в себя изопреновый каучук (IR, SP-значение: 7,9-8,4 (кал/см³)^{1/2}), бутадиеновый каучук (BR, SP-значение: 8,1-8,6 (кал/см³)^{1/2}), стирол-бутадиеновый каучук (SBR, SP-значение: 8,1-8,7 (кал/см³)^{1/2}), полиизобутилен (бутилкаучук, IIR, SP-значение: 7,7-8,1 (кал/см³)^{1/2}), этиленпропилендиеновый каучук (EPDM, SP-значение: 7,9-8,0 (кал/см³)^{1/2}) и т.п.

Примеры нитрильного синтетического каучука включают в себя акрилонитрилбутадиеновый каучук

(NBR, SP-значение: $8,7-10,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$), акриловый каучук (ACM, SP-значение: $9,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$) и т.п.

Примеры хлоропренового синтетического каучука включают в себя хлоропреновый каучук (CR, SP-значение: $8,2-9,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$).

В качестве синтетического каучука в дополнение к вышеупомянутому могут быть использованы уретановый каучук (SP-значение: $10,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$), силиконовый каучук (SP-значение: $7,3-7,6 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$), фторкаучук (FKM, SP-значение: $8,6 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$), хлорсульфонируемый полиэтилен (CSM, SP-значение: $8,1-10,6 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$), эпихлорогидриновый каучук (ECO, SP-значение: $9,6-9,8 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$) и т.п.

В качестве эластомера SBR, EPDM и NBR являются предпочтительными с точек зрения превосходной теплостойкости и простого ослабления натяжения, возникающего в листе 40 электротехнической стали.

Среди этих эластомеров один тип может использоваться отдельно или два или более типов могут использоваться в комбинации.

Вторая фаза может содержать состав, отличный от эластомера. Примеры состава, отличного от эластомера, включают в себя вышеупомянутую акриловую смолу и т.п.

Количество эластомера предпочтительно равно 50% по объему или более, более предпочтительно 70% по объему или более, дополнительно предпочтительно 90% по объему или более и особенно предпочтительно 100% по объему относительно суммарного объема второй фазы. Когда количество эластомера равно вышеуказанному нижнему предельному значению или более, клеевой части 41 легко формировать структуру типа "море-остров" с первой фазой и второй фазой и легко смягчать натяжение, возникающее в листе 40 электротехнической стали.

Количество эластомера является отношением объема эластомера к суммарному объему второй фазы при 25°C .

Количество второй фазы предпочтительно равно 5-50% по объему, более предпочтительно 10-40% по объему, а еще более предпочтительно 20-30% по объему относительно суммарного объема клеящего вещества. Когда количество второй фазы равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко смягчать натяжение, возникающее в листе 40 электромеханической стали. Когда количество второй фазы равно вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, легко увеличивать прочность склеивания клеевой части 41.

Количество второй фазы является отношением объема второй фазы к суммарному объему клеящего материала при температуре 25°C . Когда вторая фаза погружается в воду при 25°C , объем воды увеличивается и объем второй фазы получается с увеличенным объемом воды.

SP-значение второй фазы равно $7,5-8,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$, предпочтительно $7,7-8,2 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$, а более предпочтительно $7,9-8,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$. Когда SP-значение второй фазы равно вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, легко наносить клеящий материал на поверхность листа 40 электротехнической стали. Когда SP-значение второй фазы равно вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, клеевой части 41 легко формировать структуру типа "море-остров" с первой фазой и второй фазой.

Возможно измерять SP-значение второй фазы, например, следующим способом. Смоляная композиция, составляющая вторую фазу, наносится на поверхность электротехнической стали без ориентированного зерна и нагревается до 120°C для отверждения. Когда различные растворители с известными SP-значениями растираются о полученный отвердевший продукт, отвердевший продукт второй фазы растворяется в растворителе, и таким образом растворитель изменяет цвет, SP-значение растворителя устанавливается в SP-значение второй фазы.

Примеры различных растворителей, каждый из которых имеет известное SP-значение, включают в себя растворители, аналогичные различным растворителям, в которых SP-значение, полученное, когда SP-значение первой фазы измеряется, является известным.

SP-значение второй фазы может быть отрегулировано с помощью типа и количества эластомера в смоляной композиции, составляющей вторую фазу, типа и количества состава, отличного от эластомера, содержащегося во второй фазе, и их сочетания.

Разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы предпочтительно равна $0,1-3,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$, более предпочтительно $1,0-3,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$, а еще более предпочтительно $1,5-2,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$. Когда разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы равна вышеуказанному нижнему предельному значению или больше, клеевой части легко формировать структуру типа "море-остров" с первой фазой и второй фазой. Когда разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы равна вышеуказанному верхнему предельному значению или меньше, вторая фаза равномерно диспергирует, и легко увеличивать стабильность клеящего материала. Кроме того, когда разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы находится в вышеуказанном числовом диапазоне, легко смягчать натяжение, возникающее в листе 40 электротехнической стали, чтобы уменьшать потери в стали для шихтованного сердечника, и легче улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника.

Разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы получается посредством

измерения SP-значения первой фазы и SP-значения второй фазы и вычитания полученного SP-значения второй фазы из полученного SP-значения первой фазы.

Клеящий материал настоящего варианта осуществления может содержать необязательный компонент в дополнение к вышеупомянутой первой фазе и второй фазе. Примеры необязательного компонента включают в себя

- синтетическую смолу, такую как полиолефиновая смола, полиуретановая смола, полиамидная смола, полиимидная смола, полиэфирная смола, силиконовая смола и фтористая смола;
- оксидные мелкодисперсные частицы, такие как окись кремния и окись алюминия;
- токопроводящее вещество;
- антикоррозийную добавку, такую как умеренно растворимый хромат;
- окрашивающий пигмент (например, конденсированный полициклический органический пигмент, фталоцианиновый органический пигмент и т.п.);
- окрашивающий краситель (например, азокраситель, азокраситель на основе соли комплекса металлов и т.п.);
- пленкообразующее средство;
- улучшитель дисперсности;
- противопенный агент; и т.п.

Среди этих необязательных компонентов один тип может использоваться отдельно или два или более типов могут использоваться в комбинации.

В случае, в котором клеящий материал содержит необязательный компонент, количество необязательного компонента предпочтительно равно 1-40% по объему относительно суммарного объема клеящего материала при 25°C.

В качестве клеящего материала настоящего варианта осуществления в дополнение к клеящему материалу термоотверждающегося типа клеящий материал на основе радикальной полимеризации и т.п. может также быть использован, а с точки зрения производительности желательно использовать отверждаемый при комнатной температуре клеящий материал. Отверждаемый при комнатной температуре клеящий материал отверждается при 20-30°C. В качестве отверждаемого при комнатной температуре клеящего материала акриловый клеящий материал является предпочтительным. Типичные акриловые клеящие материалы включают в себя акриловый клеящий материал второго поколения (SGA) и т.п. Любое из анаэробного клеящего материала, мгновенного клеящего материала и эластомерсодержащего акрилового клеящего материала может использоваться при условии, что преимущества настоящего изобретения не нарушаются. Клеящий материал, упоминаемый здесь, означает клеящий материал в состоянии до отверждения и, после того как клеящий материал отверждается, он становится клеевой частью 41.

Средний модуль Е упругости при растяжении клеевых частей 41 при комнатной температуре (20-30°C) составляет в диапазоне в 1500-4500 МПа. Если средний модуль Е упругости при растяжении клеевых частей 41 меньше 1500 МПа, возникает такая проблема, что жесткость шихтованного сердечника понижается. Следовательно, значение нижнего предела среднего модуля Е упругости при растяжении клеевых частей 41 составляет 1500 МПа и более предпочтительно 1800 МПа. Наоборот, если средний модуль Е упругости при растяжении клеевых частей 41 превышает 4500 МПа, возникает такая проблема, что изоляционное покрытие, сформированное на поверхности листа 40 электротехнической стали, отслаивается. Следовательно, верхний предел среднего модуля Е упругости при растяжении клеевых частей 41 составляет 4500 МПа и более предпочтительно 3650 МПа.

Средний модуль упругости Е при растяжении измеряется посредством резонансного способа. В частности, модуль упругости при растяжении измеряется в соответствии с JIS R 1602:1995.

Более конкретно, сначала отбирается образец для измерения (не показан). Этот образец получается посредством приклеивания двух листов 40 электротехнической стали друг к другу посредством клеящего материала, который должен измеряться, и отверждения клеящего материала, с тем чтобы формировать клеевую часть 41. В случае, в котором клеящий материал представляет собой термореактивный клеящий материал, это отверждение выполняется посредством нагрева и создания повышенного давления при условиях нагрева, а также создания повышенного давления в фактической операции. С другой стороны, в случае, в котором клеящий материал представляет собой отверждаемый при комнатной температуре клеящий материал, отверждение выполняется посредством создания повышенного давления при комнатной температуре.

Затем модуль упругости при растяжении этого образца измеряется посредством резонансного способа. Как описано выше, способ измерения модуля упругости при растяжении резонансным способом выполняется в соответствии с JIS R 1602:1995. Затем модуль упругости при растяжении одной только клеевой части 41 получается посредством удаления влияния самого листа 40 электротехнической стали из модуля упругости при растяжении (измеренного значения) образца посредством вычисления.

Модуль упругости при растяжении, полученный таким образом из образца, является равным среднему значению для шихтованного сердечника в целом, и, таким образом, это значение рассматривается как средний модуль упругости Е при растяжении. Состав среднего модуля упругости Е при растяжении

задается так, что средний модуль упругости E при растяжении едва ли изменяется в зависимости от позиции укладки пакетом в направлении укладки пакетом и углового положения вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Следовательно, значение, полученное посредством измерения модуля упругости при растяжении отвержденной клеевой части 41 в верхней конечной позиции в шихтованном сердечнике, может рассматриваться в качестве среднего модуля E упругости при растяжении.

В качестве способа склеивания может использоваться способ нанесения клеящего материала на листы 40 электротехнической стали и затем приклеивания листов 40 электротехнической стали друг к другу посредством одного либо обоих из нагрева и пакетирования сжатием. Нагревательное средство, например, может представлять собой любое средство, такое как способ нагрева в высокотемпературной ванне или электрической печи, способ непосредственной подачи питания и т.п.

Чтобы получать стабильную и достаточную прочность склеивания, толщина каждой клеевой части 41 предпочтительно равна 1 мкм или больше.

С другой стороны, когда толщина каждой клеевой части 41 превышает 100 мкм, сила склеивания становится насыщенной. Дополнительно, по мере того как каждая клеевая часть 41 становится более толстой, коэффициент заполнения уменьшается и магнитные свойства шихтованного сердечника в потерях в стали и т.п. ухудшаются. Таким образом, толщина клеевой части 41 предпочтительно составляет 1 мкм или больше и 100 мкм или меньше, а более предпочтительно 1 мкм или больше и 10 мкм или меньше.

В вышеприведенном описании толщина каждой клеевой части 41 означает среднюю толщину клеевых частей 41.

Средняя толщина клеевых частей 41 более предпочтительно составляет 1,0 мкм или больше и 3,0 мкм или меньше. Если средняя толщина клеевых частей 41 меньше 1,0 мкм, достаточная сила склеивания не может обеспечиваться, как описано выше. Следовательно, нижний предел средней толщины клеевых частей 41 составляет 1,0 мкм и более предпочтительно 1,2 мкм. Наоборот, если средняя толщина клеевых частей 41 становится толще 3,0 мкм, возникают такие проблемы, как значительное увеличение величины натяжения электрического стального листа 40 вследствие усадки во время затвердевания. Следовательно, верхний предел средней толщины клеевых частей 41 составляет 3,0 мкм и более предпочтительно 2,6 мкм.

Средняя толщина клеевых частей 41 является средним значением для шихтованного сердечника статора в целом. Средняя толщина клеевых частей 41 является почти неизменной в зависимости от позиции укладки в направлении укладки и окружной позиции вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Следовательно, среднее значение значений, полученных путем измерения толщины клеевых частей 41 в верхнем крайнем положении в шихтованном сердечнике в десяти или более точках в окружном направлении, можно рассматривать как среднюю толщину клеевых частей 41.

Средняя толщина клеевых частей 41 может регулироваться, например, посредством изменения применяемого количества клеящего материала. Дополнительно, например, в случае термореактивного клеящего материала средний модуль E упругости при растяжении клеевых частей 41 может регулироваться посредством изменения одного либо обоих из условий нагрева и создания повышенного давления, применяемых во время склеивания, и типа отверждающего агента.

В настоящем варианте осуществления множество листов 40 электротехнической стали, формирующих сердечник 31 ротора, прикрепляются друг к другу с использованием крепежной части С (шканца). Тем не менее множество листов 40 электротехнической стали для формирования сердечника 31 ротора могут приклеиваться друг к другу посредством клеевой части 41.

Шихтованный сердечник, такой как сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора, может формироваться посредством так называемой вращательной укладки.

Способ производства шихтованного сердечника согласно варианту осуществления настоящего изобретения имеет этап (этап нанесения) нанесения клеящего материала, который включает в себя первую фазу, содержащую эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент, и вторую фазу, содержащую эластомер, на поверхность листа электротехнической стали, этап (этап укладки) укладки пакетом множества листов электротехнической стали, на которые клеящий материал был нанесен, и этап (этап отверждения) отверждения клеящего материала, чтобы сформировать клеевую часть.

Далее способ производства сердечника 21 статора настоящего варианта осуществления будет описан со ссылкой на чертежи.

Как показано на фиг. 4, в производственном устройстве 100, в то время как исходный стальной лист P подается из катушки Q (рулона) в направлении стрелки F , первоначальный стальной лист P вырубается множество раз пресс-формой, размещенной на каждой стадии, и постепенно приобретает форму листа 40 электротехнической стали. Клеящий материал наносится на нижнюю поверхность листа 40 электротехнической стали (этап нанесения), вырубленные листы 40 электротехнической стали укладываются пакетом (этап укладки), клеящий материал отверждается посредством нагрева и склеивается, подвергаясь повышенному давлению, листы 40 электротехнической стали склеиваются друг с другом с помощью клеевой части 41 и сердечник 21 статора формируется (этап отверждения).

Производственное устройство 100 включает в себя вырубочную станцию 110 первой стадии, распо-

ложенную наиболее близко к катушке Q, вырубочную станцию 120 второй стадии, расположенную рядом с вырубочной станцией 110 на нижней по потоку стороне от вырубочной станции 110 в направлении транспортировки исходного стального листа P, и станцию 130 для нанесения клеевого покрытия, расположенную рядом с вырубочной станцией 120 на нижней по потоку стороне от вырубочной станции 120.

Вырубочная станция 110 включает в себя стационарную пресс-форму 111, расположенную ниже исходного стального листа P, и перемещаемую пресс-форму 112, расположенную выше исходного стального листа P.

Вырубочная станция 120 включает в себя стационарную пресс-форму 121, расположенную ниже исходного стального листа P, и перемещаемую пресс-форму 122, расположенную выше исходного стального листа P.

Станция 130 для нанесения клеевого покрытия включает в себя аппликатор 131, включающий в себя множество инжекторов, расположенных согласно рисунку применения клеящего материала.

Производственное устройство 100 дополнительно включает в себя станцию 140 укладки в позиции ниже по потоку от станции 130 для нанесения клеевого покрытия.

Станция 140 укладки включает в себя нагревательное устройство 141, стационарную пресс-форму для придания внешней формы 142, теплоизоляционный элемент 143, перемещаемую пресс-форму 144 для придания внешней формы и пружину 145.

Нагревательное устройство 141, стационарная пресс-форма для придания внешней формы 142 и теплоизоляционный элемент 143 располагаются ниже исходного стального листа P. С другой стороны, перемещаемая пресс-форма 144 для придания внешней формы и пружина 145 располагаются выше исходного стального листа P.

В производственном устройстве 100 сначала исходный стальной лист P последовательно подается из катушки Q в направлении стрелки F на фиг. 4. Затем относительно исходного стального листа P процесс вырубки выполняется сначала посредством вырубочной станции 110. Затем относительно исходного стального листа P процесс вырубки выполняется посредством вырубочной станции 120. Посредством этих процессов вырубки форма листа 40 электротехнической стали, имеющего часть 22 спинки сердечника и множество зубчатых частей 23, показанных на фиг. 3, получается на исходном стальном листе P (этап вырубки). Тем не менее, поскольку стальной лист не полностью вырубается в этот момент, процесс переходит к следующему этапу в направлении стрелки F. В станции 130 для нанесения клеевого покрытия следующего этапа клеящий материал, поданный из каждого инжектора аппликатора 131, наносится в точечной форме (этап нанесения).

Затем исходный стальной лист P подается в укладочную станцию 140, вырубается посредством перемещаемой пресс-формы для придания внешней формы 144 и укладывается с высокой точностью (этап укладки). Во время этой укладки лист 40 электротехнической стали получает постоянное прижимающее усилие пружины 145. Посредством последовательного повторения этапа вырубки, этапа нанесения и этапа укладки, описанных выше, возможно укладывать пакетом предварительно определенное количество листов 40 электротехнической стали. Дополнительно шихтованная основная часть, сформированная посредством укладки пакетом листов 40 электротехнической части таким способом, нагревается посредством нагревательного устройства 141, например, до 60-200°C. Посредством этого нагрева клеящий материал отверждается, и клеевая часть 41 формируется (этап отверждения).

Сердечник 21 статора реализуется посредством вышеописанных этапов.

Как описано выше, в электродвигателе и шихтованном сердечнике согласно настоящему варианту осуществления множество листов электротехнической стали, обе поверхности каждого из которых покрыты изоляционным покрытием, наслаиваются друг на друга, и листы электротехнической стали, соседние в направлении укладки, склеиваются друг с другом с помощью клеевой части, которая формируется из клеящего материала, включающего в себя первую фазу и вторую фазу. Посредством склеивания листов электротехнической стали друг с другом с помощью клеевой части возможно получать достаточную прочность склеивания.

Кроме того, каждая клеевая часть имеет структуру типа "море-остров" из первой фазы и второй фазы. Следовательно, в электродвигателе и шихтованном сердечнике согласно настоящему варианту осуществления легко смягчать натяжение, возникающее в листе электротехнической стали. В результате легко уменьшать гистерезисные потери и возможно улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника.

Шихтованный сердечник согласно настоящему варианту осуществления имеет улучшенные магнитные свойства. Следовательно, шихтованный сердечник согласно настоящему варианту осуществления является подходящим в качестве шихтованного сердечника для статора (сердечника статора). Шихтованный сердечник может использоваться в качестве сердечника ротора.

Объем настоящего изобретения не ограничен вышеописанными вариантами осуществления, и различные модификации могут вноситься без отступления от сущности настоящего изобретения.

Форма сердечника статора не ограничена формой, показанной в вышеописанном варианте осуществления. В частности, размеры внешнего диаметра и внутреннего диаметра сердечника статора, толщина укладки, число прорезей, соотношение размеров каждой из зубчатых частей 23 в окружном направлении

и радиальном направлении, соотношение размеров между каждой из зубчатых частей 23 и частью 22 спинки сердечника в радиальном направлении и т.п. могут произвольно рассчитываться согласно свойствам требуемого электродвигателя.

В роторе вышеописанного варианта осуществления набор из двух постоянных магнитов 32 формирует один магнитный полюс, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, один постоянный магнит 32 может формировать один магнитный полюс, либо три или более постоянных магнита 32 могут формировать один магнитный полюс.

В вышеописанном варианте осуществления электродвигатель с возбуждением постоянными магнитами был описан в качестве примера электродвигателя, но конструкция электродвигателя не ограничивается этим, как будет проиллюстрировано ниже, и в качестве конструкции электродвигателя различные известные конструкции, которые не будут проиллюстрированы ниже, также могут быть применены.

В вышеописанном варианте осуществления электродвигатель с возбуждением постоянными магнитами был описан в качестве примера синхронного мотора, однако настоящее изобретение не ограничивается этим. Например, электродвигатель может представлять собой реактивный электродвигатель или электродвигатель на электромагнитном поле (двухобмоточный электродвигатель).

В вышеописанном варианте осуществления синхронный электродвигатель был описан в качестве примера электродвигателя переменного тока, однако настоящее изобретение не ограничивается этим. Например, электродвигатель может представлять собой асинхронный электродвигатель.

В вышеописанном варианте осуществления электродвигатель переменного тока был описан в качестве примера электродвигателя, однако настоящее изобретение не ограничивается этим. Например, электродвигатель может представлять собой электродвигатель постоянного тока.

В вышеописанном варианте осуществления электродвигатель был описан в качестве примера электродвигателя, однако настоящее изобретение не ограничивается этим. Например, электродвигатель может представлять собой электрический генератор.

В вышеописанном варианте осуществления случай, в котором шихтованный сердечник согласно настоящему изобретению применяется к сердечнику статора, был проиллюстрирован, однако шихтованный сердечник настоящего изобретения может также быть применен и к сердечнику ротора.

Кроме того, возможно подходящим образом заменять элементы конфигурации в вышеописанном варианте осуществления хорошо известными элементами конфигурации без отступления от сути настоящего изобретения и вышеописанные примеры модификации могут подходящим образом быть объединены.

Примеры

Примеры 1-7, сравнительные примеры 1-8.

Рулон с толщиной 0,25 мм был подготовлен, агент для обработки изоляционного покрытия, содержащий фосфат металла и эмульсию акриловой смолы, был нанесен на обе поверхности рулона и обжиг был выполнен при температуре 300°C, чтобы формировать изоляционное покрытие с толщиной 0,8 мкм на одной поверхности.

Лист, на котором изоляционное покрытие было сформировано, был смотан, чтобы формировать катушку Q. Катушка Q была установлена в производственном устройстве 100, описанном выше, и исходный стальной лист P был подан из катушки Q в направлении стрелки F. С помощью производственного устройства 100 однопластинчатый сердечник (лист 40 электротехнической стали), имеющий форму кольца с внешним диаметром 300 мм и внутренним диаметром 240 мм и снабженный восемнадцатью прямоугольными зубчатыми частями, имеющими длину 30 мм и ширину 15 мм на стороне внутреннего диаметра, был сформирован посредством вырубки (этапа вырубки).

Затем, в то время как вырубленные однопластинчатые сердечники последовательно подавались, 5 мг на одну точку клеящего материала, имеющего состав, показанный в табл. 1, было нанесено в точках в каждой позиции, показанной на фиг. 3 (этап нанесения), и однопластинчатые сердечники были уложены пакетом (этап укладки). Посредством повторения той же операции была получена шихтованная основная часть, в которой 130 однопластинчатых сердечников было уложено пакетом. Полученная шихтованная основная часть была нагрета при температуре 120°C, в то же время подвергаясь повышенному давлению с давлением 10 МПа, чтобы отверждать клеящий материал (этап отверждения), и шихтованный сердечник (сердечник статора) каждого примера был произведен. Средняя толщина клеевых частей была 1,5 мкм.

В табл. 1 типы компонентов первой фазы являются следующими.

Эпоксидная смола.

A1: бисфенол F-типа.

A2: бисфенол A-типа.

A3: бисфенол AD-типа.

Акриловая смола.

B1: акриловая кислота.

B2: метакриловая кислота.

B3: малеиновая кислота.

Отверждающий агент.

C1: диэтиламинопропиламин (DEAPA).

C2: новолачная феноловая смола.

C3: метилгексагидрофталевый ангидрид.

В табл. 1 типы второй фазы являются следующими.

Эластомер.

D1: EPDM (SP-значение: $7,9-8,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$).

D2: SBR (SP-значение: $8,1-8,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$).

D3: NBR (SP-значение: $8,7-10,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$).

В табл. 1 пропорция каждого компонента первой фазы представляет количество (% по объему (объемный %)) каждого компонента относительно суммарного объема первой фазы.

В табл. 1 доля второй фазы представляет количество (% по объему (объемный %)) каждого компонента относительно суммарного объема клеящего материала. Вторая фаза была 100% по объему из эластомера.

В табл. 1 единицей измерения SP-значения является $(\text{кал/см}^3)^{1/2}$. SP-значение первой фазы было измерено следующим способом. Смоляная композиция, составляющая первую фазу, была нанесена на поверхность листа электротехнической стали и была нагрета до 120°C для отверждения. Когда различные растворители с известными SP-значениями, показанные в табл. 2, растираются о полученный отвердевший продукт, отвердевший продукт первой фазы растворяется в растворителе, и таким образом растворитель изменяет цвет, SP-значение растворителя устанавливается в SP-значение первой фазы.

SP-значение второй фазы было измерено следующим способом. Эластомер перед смешиванием со смоляной композицией, составляющей первую фазу, был нагрет до 120°C и отвержден. Когда различные растворители с известными SP-значениями, показанные в табл. 2, растираются о полученный отвердевший продукт, отвердевший продукт второй фазы растворяется в растворителе, и таким образом растворитель изменяет цвет, SP-значение растворителя устанавливается в SP-значение второй фазы.

При измерении SP-значения первой фазы и SP-значения второй фазы растворители, показанные в табл. 2, и смешанный растворитель, полученный надлежащим смешиванием двух или более этих растворителей для регулирования SP-значения, были приготовлены, так что SP-значение может быть измерено с приращениями 0,1 в диапазоне от 7,0 до 11,4.

В табл. 1, рассматривающей "присутствие или отсутствие структуры типа "море-остров"", когда поверхность среза, полученная разрезанием шихтованного сердечника в радиальном направлении, чтобы включать в него клеевую часть, наблюдалась с помощью микроскопа или т.п., случай, в котором структура с разделением фаз распознается, был задан в качестве "присутствия", а случай, в котором структура с разделением фаз не распознается, был задан в качестве "отсутствия".

Далее проверочный тест был выполнен, чтобы проверять вышеупомянутые эффекты. Текущий проверочный тест был выполнен посредством моделирования с помощью программного обеспечения. В качестве программного обеспечения использовано программное обеспечение моделирования электромагнитного поля JMAG, которое основано на конечно-элементном способе и изготавливается компанией JSOL Corporation.

Потери в стали шихтованного сердечника каждого примера были получены посредством вышеупомянутого моделирования.

Кроме того, в качестве цели сравнения потери в стали шихтованного сердечника, в котором множество листов электротехнической стали были скреплены друг с другом на всех слоях, также были получены. Значение (коэффициент потерь в стали) было получено делением потерь в стали шихтованного сердечника каждого примера на потери в стали шихтованного сердечника в качестве цели сравнения. Когда потери в стали шихтованного сердечника каждого примера являются эквивалентными потерям в стали шихтованного сердечника в качестве цели сравнения, коэффициент потерь в стали становится 100%. Чем меньше коэффициент потерь в стали, тем меньше потери в стали шихтованного сердечника каждого примера и лучше магнитные свойства шихтованного сердечника.

Коэффициент потерь в стали шихтованного сердечника каждого примера был вычислен, и магнитные свойства шихтованного сердечника каждого примера были оценены на основе следующего критерия оценки. Результаты показаны в табл. 1.

Критерий оценки.

A: коэффициент потерь в стали меньше 100%.

B: коэффициент потерь в стали равен 100% или больше.

Таблица 1

номер	Акрилированная эпоксидная смола (первая фаза)							Эластомер (вторая фаза)			Наличие или отсутствия	Магнитные свойства
	Эпоксидная смола		Акриловая смола		Отверждающий агент		SP-значение					
	Тип	доля [объем%]	Тип	доля [объем%]	Тип	доля [объем%]		Тип	доля [объем%]	SP-значение		
											типа "морской"	
Пример 1	A1	55	B1	5	C1	40	10.7	D ₁	20	7.9	Присутствие	A
Пример 2	A1	50	B2	10	C2	40	10.0	D ₁	25	8.0	Присутствие	A
Пример 3	A1	65	B1	25	C2	10	9.0	D3	30	8.4	Присутствие	A
Пример 4	A2	65	B1	30	C2	5	8.6	D2	40	8.1	Присутствие	A
Пример 5	A3	59	B1	40	C3	1	8.5	D3	50	7.9	Присутствие	A
Пример 6	A1	63	B3	22	C2	15	9.8	D2	25	8.3	Присутствие	A
Пример 7	A1	58	B1	22	C2	20	9.1	D3	30	8.4	Присутствие	A
Сравнительный пример 1	A1	45	B1	45	C2	10	7.5	D3	30	8.4	Отсутствия	B
Сравнительный	A1	40	B1	50	C2	10	7.4	D3	30	8.4	Отсутствия	B

приме р 2												
Сравн ительн ый приме р 3	A1	35	B1	55	C2	10	7.3	D3	30	8.4	Отсу тств ие	В
Сравн ительн ый приме р 4	A1	30	B1	60	C2	10	7.2	D3	30	8.4	Отсу тств ие	В
Сравн ительн ый приме р 5	A3	59	B1	40	C3	1	8.0	D3	55	9.0	Отсу тств ие	В
Сравн ительн ый приме р 6	A1	65	B3	15	C2	20	10.8	D3	60	7.5	Отсу тств ие	В
Сравн ительн ый приме р 7	A1	57	B1	3	C1	40	11.0	D3	65	7.6	Отсу тств ие	В
Сравн ительн ый приме р 8	A1	50	B1	5	C1	45	10.9	D3	25	7.8	Отсу тств ие	В

Таблица 2

Растворитель	SP-значение (кал/см ³) ^{1/2}	Растворитель	SP-значение (кал/см ³) ^{1/2}
n-пентан	7.0	ксилен	8.8
n-гексан	7.3	толуол	8.9
диэтиловый эфир	7.4	этилацетат	9.1
n-октан	7.6	бензол	9.2
винилхлорид	7.8	метилэтилкетон	9.3
циклогексан	8.2	метиленхлорид	9.7
изобутилацетат	8.3	ацетон	9.9
изопропилацетат	8.4	дисульфид углерода	10.0
бутилацетат	8.5	уксусная кислота	10.1
тетрахлорид углерода	8.6	n-гексанол	10.7
метилпропилкетон	8.7	циклогексанол	11.4

Как показано в табл. 1, в примерах 1-7, к которым настоящее изобретение применяется, коэффициент потерь в стали был меньше 100% и магнитные свойства были улучшены.

С другой стороны, в сравнительных примерах 1-4 и 8, в которых SP-значение первой фазы находится за пределами диапазона настоящего изобретения, коэффициент потерь в стали был 100% или больше.

В сравнительных примерах 5-7, в которых количество второй фазы является высоким и клеевая часть не имеет структуры типа "море-остров", коэффициент потерь в стали был 100% или больше.

Из вышеприведенных результатов было обнаружено, что согласно шихтованному сердечнику настоящего изобретения возможно пресекать потери в стали и улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника.

Промышленная применимость

Согласно настоящему изобретению возможно улучшать магнитные свойства шихтованного сердечника. Следовательно, промышленная применимость является широкой.

Краткое описание ссылок с номерами

- 10 - Электродвигатель;
- 20 - статор;
- 21 - сердечник статора (шихтованный сердечник);
- 40 - лист электротехнической стали;
- 41 - клеевая часть.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Шихтованный сердечник, содержащий множество листов электротехнической стали, которые уложены пакетом друг на друга и обе поверхности каждого из которых покрыты изоляционным покрытием; и клеевую часть, которая предусматривается между листами электротехнической стали, соседними в направлении укладки, и приклеивает листы электротехнической стали друг к другу, при этом клеящий материал для формирования клеевой части включает в себя первую фазу и вторую фазу, при этом две фазы клеевого материала расположены на каждом из множества листов таким образом, чтобы первая фаза представляла единую связанную область, а вторая фаза распределена так, чтобы представлять множество несвязанных друг с другом областей, при этом первая фаза содержит эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент, при этом первая фаза имеет SP-значение, равное 8,5-10,7 (кал/см³)^{1/2}, при этом вторая фаза содержит эластомер, при этом вторая фаза имеет SP-значение, равное 7,5-8,4 (кал/см³)^{1/2}, при этом количество первой фазы равно 50% по объему или больше относительно суммарного объема клеевой части, и при этом количество эпоксидной смолы равно 50% по объему или больше относительно суммарного объема первой фазы.
2. Шихтованный сердечник по п.1, при этом разница между SP-значением первой фазы и SP-значением второй фазы равна 0,1-3,0 (кал/см³)^{1/2}.
3. Шихтованный сердечник по п.1 или 2, при этом количество акриловой смолы составляет 5-45%

по объему относительно суммарного объема первой фазы.

4. Шихтованный сердечник по любому из пп.1-3, при этом количество отверждающего агента равно 1-40% по объему относительно суммарного объема первой фазы.

5. Шихтованный сердечник по любому из пп.1-4, при этом отверждающий агент является новолачной фенольной смолой.

6. Шихтованный сердечник по любому из пп.1-5, который предназначен для статора.

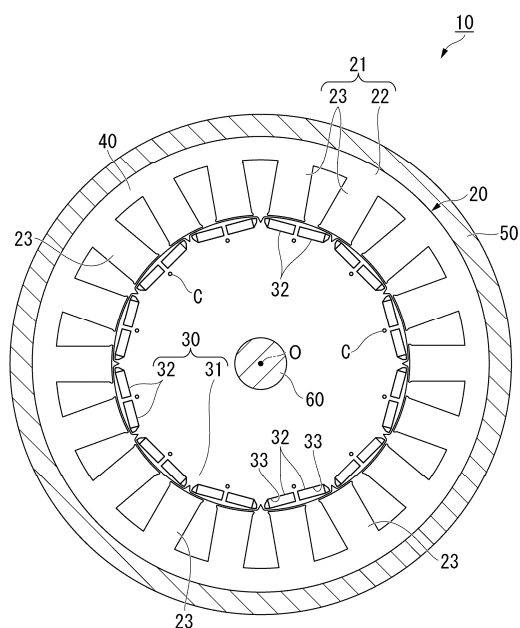
7. Способ производства шихтованного сердечника по любому из пп.1-6, содержащий этапы, на которых

наносят клеящий материал, который включает в себя первую фазу, содержащую эпоксидную смолу, акриловую смолу и отверждающий агент, и вторую фазу, содержащую эластомер, на поверхность листа электротехнической стали;

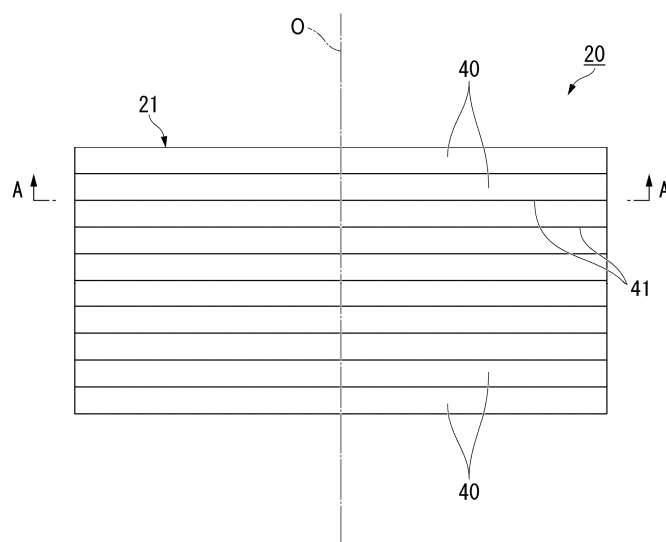
укладывают пакетом множество листов электротехнической стали; и

отверждают клеящий материал, чтобы сформировать клеевую часть.

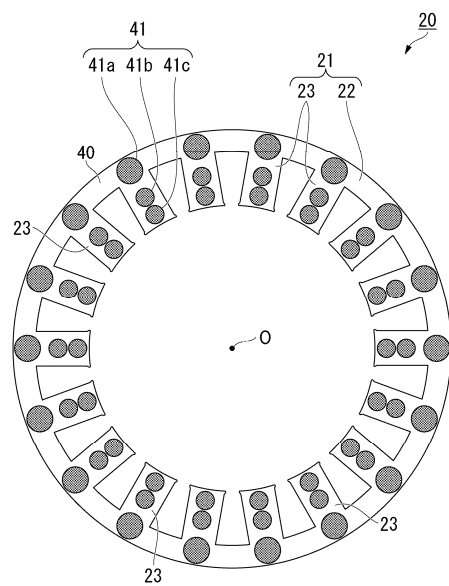
8. Электродвигатель, содержащий шихтованный сердечник по любому из пп.1-6.



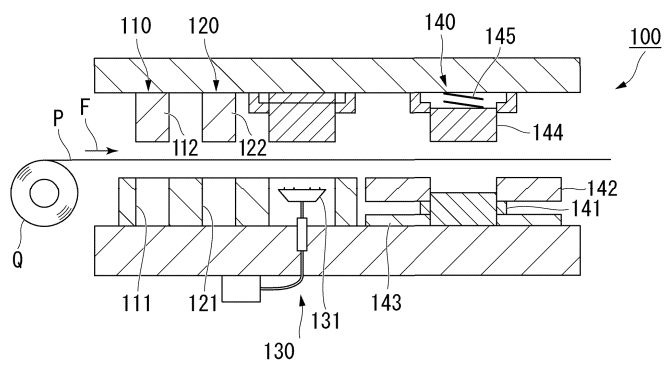
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

