

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **042783**(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2023.03.24**

**(21)** Номер заявки  
**202192068**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2019.12.17**

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

---

---

**(54) ШИХТОВАННЫЙ СЕРДЕЧНИК, СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШИХТОВАННОГО СЕРДЕЧНИКА И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ**

---

**(31)** 2018-235867

**(32)** 2018.12.17

**(33)** JP

**(43)** 2021.11.08

**(86)** PCT/JP2019/049293

**(87)** WO 2020/129941 2020.06.25

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

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

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

**(56)** JP-A-2000152570  
JP-A-201728911  
WO-A1-2018216565  
JP-A-11162724  
JP-A-2013253153  
JP-A-2004150859  
JP-B2-2574698

**(57)** В изобретении предложен электродвигатель, использующий шихтованный сердечник, в котором штампованные листы электротехнической стали склеены друг с другом с высокой адгезионной прочностью. Шихтованный сердечник включает в себя множество листов электротехнической стали, которые уложены друг на друга и обе поверхности которых покрыты изоляционным покрытием; и клеевую часть, которая размещена между смежными друг с другом в направлении укладки листами электротехнической стали и склеивает листы электротехнической стали друг с другом, при этом все наборы смежных друг с другом в направлении укладки листов электротехнической стали склеены друг с другом клеевыми частями, при этом клеевые части предусмотрены во множестве положений между листами электротехнической стали и при этом клеевая часть является слоем, выполненным из клея, содержащего любую или обе из акриловой смолы и эпоксидной смолы и имеющего значение  $SP\ 7,8-10,7\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ .

**B1****042783****042783****B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к шихтованному сердечнику, способу изготовления шихтованного сердечника и электродвигателю. Испрашивается приоритет по заявке на патент Японии № 2018-235867, поданной 17 декабря 2018 г., содержание которой включено в данном документе по ссылке.

### Предпосылки изобретения

Традиционно в качестве используемого в электродвигателе сердечника известен шихтованный сердечник, в котором множество листов электротехнической стали шихтованы друг на друга. Множество листов электротехнической стали связаны друг с другом такими способами как сварка, склеивание и скрепление. Патентный документ 1 раскрывает шихтованный сердечник, в котором штампованные листы электротехнической стали склеиваются друг с другом эпоксидной смолой или акриловой смолой.

### Список цитируемой литературы

#### Патентные документы

Патентный документ 1: не прошедшая экспертизу заявка на патент Японии, первая публикация № 2004-88970

### Сущность изобретения

#### Проблемы, решаемые изобретением

Однако в предшествующем уровне техники, как в патентном документе 1, достаточная прочность адгезии между штампованными листами электротехнической стали не может быть легко получена.

Целью настоящего изобретения является предоставление шихтованного сердечника, в котором штампованные листы электротехнической стали склеиваются друг с другом с высокой прочностью адгезии, способа его изготовления и содержащего его электродвигателя.

#### Средства решения проблемы

Вариант осуществления настоящего изобретения имеет следующие аспекты.

[1] Шихтованный сердечник, включающий в себя множество листов электротехнической стали, которые уложены друг на друга и обе поверхности которых покрыты изоляционным покрытием; и клеевую часть, которая расположена между смежными друг с другом в направлении укладки листами электротехнической стали и склеивает листы электротехнической стали друг с другом, при этом все наборы смежных друг с другом в направлении укладки листов электротехнической стали склеены друг с другом множеством клеевых частей между листами электротехнической стали, при этом клеевые части предусмотрены во множестве положений между листами электротехнической стали, и при этом клеевая часть выполнена из клея, содержащего какую-либо одну или обе из акриловой смолы и эпоксидной смолы и имеющего значение  $SP\ 7,8-10,7\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ .

[2] Шихтованный сердечник по пункту [1], при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, содержащим эпоксидную смолу и фенольную новолачную смолу.

[3] Шихтованный сердечник по пункту [2], при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы и 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы.

[4] Шихтованный сердечник по пункту [2], при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.

[5] Шихтованный сердечник по пункту [2], при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-10 мас.ч. растворителя, имеющего значение  $SP\ 7,0-10,7\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ .

[6] Шихтованный сердечник по пункту [2], при этом клей на основе эпоксидной смолы дополнительно содержит акриловую смолу.

[7] Шихтованный сердечник по пункту [6], при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. акрированной эпоксидной смолы, полученной графт-полимеризацией с акриловой смолой, и 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы.

[8] Шихтованный сердечник по пункту [6], при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. акрированной эпоксидной смолы, полученной графт-полимеризацией с акриловой смолой, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.

[9] Шихтованный сердечник по пункту [1], при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, содержащим эпоксидную смолу с температурой стеклования  $120-180^\circ\text{C}$  и фосфорорганическое соединение.

[10] Шихтованный сердечник по пункту [1], при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы и 5-35 мас.ч. фосфорорганического соединения.

[11] Шихтованный сердечник по пункту [1], при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, содержащим эпоксидную смолу, отвердитель эпоксидной смолы и эластомер, и при этом средний модуль упругости на растяжение клеевой части при комнатной температуре составляет 1500-5000 МПа, а ее средний модуль упругости на растяжение при  $150^\circ\text{C}$  составляет 1000-3000 МПа.

[12] Шихтованный сердечник по любому из пунктов [1]-[11], при этом шихтованный сердечник является клеено-шихтованным сердечником для статора.

[13] Электродвигатель, включающий в себя шихтованный сердечник по любому из пунктов [1]-[12].

[14] Способ изготовления шихтованного сердечника по пункту [1], в котором повторяют операцию нанесения клея на поверхность листа электротехнической стали, укладки листа электротехнической стали на другой лист электротехнической стали, опрессовывания листов электротехнической стали и формирования клеевой части.

### **Эффекты изобретения**

Согласно настоящему изобретению возможно представить шихтованный сердечник, в котором вырубленные листы электротехнической стали склеены друг с другом с высокой прочностью адгезии, способ его изготовления и содержащий его электродвигатель.

### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1 - вид в разрезе электродвигателя, включающего в себя клеено-шихтованный сердечник для статора согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 - вид сбоку шихтованного сердечника для статора.

Фиг. 3 - вид в разрезе по линии А-А на фиг. 2, показывающий пример рисунка размещения клеевой части клеено-шихтованного сердечника для статора.

Фиг. 4 - вид сбоку, показывающий схематичное строение производственного устройства, изготавливающего клеено-шихтованный сердечник для статора.

### **Варианты осуществления изобретения**

В дальнейшем со ссылкой на чертежи будут описаны клеено-шихтованный сердечник для статора согласно варианту осуществления настоящего изобретения и электродвигатель, включающий в себя такой клеено-шихтованный сердечник для статора. Дополнительно в этом варианте осуществления, в качестве примера будет описан двигатель, который представляет собой электродвигатель, а именно электродвигатель переменного тока, более конкретно, синхронный электродвигатель, а еще более конкретно, электродвигатель с постоянными магнитами. Этот тип электродвигателя подходящим образом используется, например, в электрическом транспортном средстве (электромобиле) или т.п.

Как показано на фиг. 1, электродвигатель 10 включает в себя статор 20, ротор 30, корпус 50 и вращающийся вал 60. Статор 20 и ротор 30 помещены в корпусе 50. Статор 20 прикреплен к внутренней стороне корпуса 50. В этом варианте осуществления в качестве электродвигателя 10 используется электродвигатель с внутренним ротором, в котором ротор 30 расположен с внутренней стороны от статора 20 в радиальном направлении. Однако в качестве электродвигателя 10 можно использовать электродвигатель с внешним ротором, в котором ротор 30 расположен с внешней стороны от статора 20. Кроме того, в этом варианте осуществления электродвигатель 10 является 12-полюсным и 18-пазым трехфазным электродвигателем переменного тока. Тем не менее число полюсов, число пазов, число фаз и т.п. может изменяться надлежащим образом. Электродвигатель 10 может вращаться со скоростью вращения 1000 об/мин, например, при подаче на каждую фазу тока возбуждения, имеющего эффективное значение 10 А и частоту 100 Гц.

Статор 20 включает в себя клеено-шихтованный сердечник 21 для статора (в дальнейшем - сердечник статора) и обмотку (не показана). Сердечник 21 статора включает в себя кольцевую часть 22 спинки сердечника и множество зубчатых частей 23. В дальнейшем направление вдоль центральной оси О сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) называется осевым направлением, радиальное направление сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) (т.е. направление, ортогональное центральной оси О) называется радиальным направлением, и окружное направление сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) (т.е. направление вращения вокруг центральной оси О) называется окружным направлением.

Часть 22 спинки сердечника имеет кольцевую форму на виде сверху статора 20 вдоль осевого направления. Множество зубчатых частей 23 выступает из внутренней периферии части 22 спинки сердечника внутрь в радиальном направлении (к центральной оси О части 22 спинки сердечника в радиальном направлении). Множество зубчатых частей 23 расположены с равными угловыми интервалами в окружном направлении. В настоящем варианте осуществления предусмотрено восемнадцать зубчатых частей 23 с интервалами в 20° центрального угла вокруг центральной оси О. Множество зубчатых частей 23 выполнены имеющими одинаковую форму и одинаковый размер по отношению друг к другу. Таким образом, множество зубчатых частей 23 имеют одинаковый друг с другом размер по толщине. Вокруг зубчатых частей 23 намотаны обмотки. Обмотки могут представлять собой концентрированные обмотки или распределенные обмотки.

Ротор 30 расположен с внутренней стороны в радиальном направлении относительно статора 20 (или сердечника 21 статора). Ротор 30 включает в себя сердечник 31 ротора и множество постоянных магнитов 32. Сердечник 31 ротора имеет кольцевую форму (форму охватывающего кольца), размещаемого коаксиально со статором 20. Вращающийся вал 60 расположен внутри сердечника 31 ротора. Вращающийся вал 60 прикреплен к сердечнику 31 ротора. Множество постоянных магнитов 32 прикреплены к сердечнику 31 ротора. В настоящем варианте осуществления набор из двух постоянных магнитов 32 образует один магнитный полюс. Множество наборов постоянных магнитов 32 размещены с равными угловыми интервалами в окружном направлении. В настоящем варианте осуществления предусмотрено

двенадцать наборов постоянных магнитов 32 (всего двадцать четыре магнита) с интервалами в  $30^\circ$  центрального угла вокруг центральной оси О.

В настоящем варианте осуществления в качестве электродвигателя с постоянными магнитами принят электродвигатель с внутренними постоянными магнитами. В сердечнике 31 ротора выполнено множество сквозных отверстий 33, пронизывающих сердечник 31 ротора в осевом направлении. Множество сквозных отверстий 33 предусмотрены соответствующими размещению множества постоянных магнитов 32. Каждый постоянный магнит 32 прикреплен к сердечнику 31 ротора в состоянии, в котором он размещается внутри соответствующего сквозного отверстия 33. Прикрепление каждого постоянного магнита 32 к сердечнику 31 ротора может быть реализовано, например, таким образом, что внешняя поверхность постоянного магнита 32 и внутренняя поверхность сквозного отверстия 33 склеиваются клеем. Дополнительно, в качестве электродвигателя с постоянными магнитами может быть принят электродвигатель с поверхностными постоянными магнитами вместо электродвигателя с внутренними постоянными магнитами.

Сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора оба являются шихтованными сердечниками. Например, как показано на фиг. 2, сердечник 21 статора образован посредством укладки друг на друга множества листов 40 электротехнической стали. Дополнительно толщина шихтованного пакета (полная длина вдоль центральной оси О) каждого из сердечника 21 статора и сердечника 31 ротора составляет, например, 50,0 мм. Внешний диаметр сердечника 21 статора составляет, например, 250,0 мм. Внутренний диаметр сердечника 21 статора составляет, например, 165,0 мм. Внешний диаметр сердечника 31 ротора составляет, например, 163,0 мм. Внутренний диаметр сердечника 31 ротора составляет, например, 30,0 мм. Однако эти значения являются примерными, и толщина шихтованного пакета, внешний диаметр или внутренний диаметр сердечника 21 статора и толщина шихтованного пакета, внешний диаметр или внутренний диаметр сердечника 31 ротора не ограничены этими значениями. Здесь внутренний диаметр сердечника 21 статора приведен по кончику зубчатой части 23 сердечника 21 статора. Т.е. внутренний диаметр сердечника 21 статора - это диаметр виртуальной окружности, вписанной в кончики всех зубчатых частей 23.

Каждый из листов 40 электротехнической стали, образующих сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора, формируется, например, посредством пробивки листа электротехнической стали в качестве основного материала. В качестве листов 40 электротехнической стали могут использоваться известные листы электротехнической стали. Химический состав листов 40 электротехнической стали не ограничен конкретным образом. В настоящем варианте осуществления в качестве листа 40 электротехнической стали используется лист изотропной электротехнической стали. В качестве листа изотропной электротехнической стали, например, может использоваться полоса изотропной электротехнической стали по JIS C 2552:2014. Однако в качестве листа 40 электротехнической стали также возможно использовать лист анизотропной электротехнической стали вместо листа изотропной электротехнической стали. В качестве листа анизотропной электротехнической стали может использоваться полоса анизотропной электротехнической стали по JIS C 2553:2012.

Чтобы улучшить обрабатываемость листа электротехнической стали или магнитные потери шихтованного сердечника, на обеих поверхностях листа 40 электротехнической стали предусмотрены изоляционные покрытия. В качестве материала, составляющего изоляционное покрытие, например, может применяться (1) неорганическое соединение, (2) органическая смола, (3) смесь неорганического соединения и органической смолы и т.п. В качестве примера неорганического соединения может быть приведено, например, (1) комплексное соединение дихромата и борной кислоты, (2) комплексное соединение фосфата и диоксида кремния и т.п. В качестве примера органической смолы могут быть приведены эпоксидная смола, акриловая смола, акрилстирольная смола, полиэфирная смола, силиконовая смола и фторкаучук и т.п.

Чтобы обеспечивать характеристики изоляции между шихтуемыми друг на друга листами 40 электротехнической стали, толщина изоляционного покрытия (толщина в расчете на одну поверхность листа 40 электротехнической стали) предпочтительно составляет 0,1 мкм или больше. С другой стороны, эффект изоляции становится насыщенным по мере того, как изоляционное покрытие становится более толстым. Дополнительно, по мере того, как изоляционное покрытие становится более толстым, коэффициент заполнения уменьшается и эксплуатационные характеристики сердечника статора снижаются. Таким образом, изоляционное покрытие может быть как можно более тонким в диапазоне, позволяющем обеспечить характеристики изоляции. Толщина изоляционного покрытия (толщина в расчете на одну поверхность листа 40 электротехнической стали) предпочтительно составляет 0,1 мкм или больше и 5 мкм или меньше, а более предпочтительно 0,1 мкм или больше и 2 мкм или меньше.

По мере того, как толщина листа 40 электротехнической стали становится меньше, эффект улучшения магнитных потерь постепенно становится насыщенным. Дополнительно, по мере того, как лист 40 электротехнической стали становится более тонким, затраты на изготовление листа 40 электротехнической стали увеличиваются. Поэтому толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 0,10 мм или больше с учетом эффекта улучшения магнитных потерь и затрат на изготовление. С другой стороны, когда лист 40 электротехнической стали является слишком толстым, обработка пробив-

кой штампом листа 40 электротехнической стали становится трудной. Поэтому толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 0,65 мм или меньше с учетом обработки пробивкой штампом листа 40 электротехнической стали. Дополнительно магнитные потери увеличиваются по мере того, как лист 40 электротехнической стали становится более толстым. Поэтому толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 0,35 мм или меньше, а более предпочтительно 0,20 мм или 0,25 мм, с учетом характеристики магнитных потерь листа 40 электротехнической стали. С учетом вышеуказанных моментов толщина каждого листа 40 электротехнической стали составляет, например, 0,10 мм или больше и 0,65 мм или меньше, предпочтительно 0,10 мм или больше и 0,35 мм или меньше, а более предпочтительно 0,20 мм или 0,25 мм. Дополнительно толщина листа 40 электротехнической стали включает в себя толщину изоляционного покрытия.

Как показано на фиг. 2, в сердечнике 21 статора между всеми наборами смежных друг с другом в направлении укладки листов 40 электротехнической стали предусмотрено множество клеевых частей 41, которые склеивают листы 40 электротехнической стали друг с другом. Все наборы листов 40 электротехнической стали, которые являются смежными друг с другом в направлении укладки, склеены друг с другом множеством клеевых частей 41 между листами 40 электротехнической стали. Т.е. множество листов 40 электротехнической стали, образующих сердечник 21 статора, уложены в пакет с размещенной между ними клеевой частью 41. Листы 40 электротехнической стали, которые являются смежными друг с другом в направлении укладки, не скреплены другими средствами (например, крепежом или т.п.).

Клеевая часть 41 используется для склеивания листов 40 электротехнической стали, которые являются смежными в направлении укладки. Клеевая часть 41 является частью, которая образована из клея (далее-клея (X)), который содержит какую-либо одну или обе из акриловой смолы и эпоксидной смолы и имеет значение  $SP\ 7,8-10,7\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ . Т.е. клеевая часть 41 является клеем (X), который отверждается без разделения. Значение SP означает параметр растворимости, определенный Гильдебрандом. Значение SP клея (X) измеряется по растворимости отвердевшего продукта, полученного отверждением клея (X) в различных растворителях, имеющих известное значение SP. Более конкретно, значение SP измеряется описанным в примерах методом. В настоящем описании символ "-", указывающий числовой диапазон, означает, что числовые значения, указанные до и после "-", включены в диапазон в качестве значения нижнего предела и значения верхнего предела.

Когда множество штампованных пробивкой листов электротехнической стали укладывают друг на друга, склеивая их друг с другом клеем, обычно используемым для получения шихтованного сердечника, трудно получать достаточную прочность адгезии между листами электротехнической стали по сравнению со случаем, в котором пробивка не выполняется. Причина состоит в том, что штамповочное масло, используемое во время пробивки, остается на шихтовочной поверхности листа электротехнической стали и присутствует между клеем и шихтовочной поверхностью листа электротехнической стали во время шихтования. В результате это масло мешает склеиванию.

Считается, что значение SP штамповочного масла близко к значению SP циклогексана (значение  $SP: 8,2\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ ) или толуола (значение  $SP: 8,9\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ ). В настоящем изобретении, поскольку значение SP клея (X) контролируется в диапазоне  $7,8-10,7\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ , совместимость со штамповочным маслом является отличной. Соответственно, клей (X) проявляет отличную адгезионную способность к маслу в набранном пакете штампованных листов электротехнической стали, и листы электротехнической стали склеиваются друг с другом с высокой адгезионной прочностью. Поэтому возможно получить сердечник 21 статора, имеющий высокую механическую прочность и низкие шум и вибрацию. Дополнительно, когда значение SP клея (X) находится в диапазоне  $7,8-10,7\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ , шихтованный сердечник с низкими шумом и вибрацией получается даже тогда, когда существует различие между значением SP клея (X) и значением SP штамповочного масла.

Значение SP клея (X) предпочтительно составляет  $8,0-10,0\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ , а более предпочтительно  $8,2-8,9\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ , поскольку адгезионная способность к маслу улучшается. Более предпочтительным является установление значения SP клея (X) на оптимальный диапазон в зависимости от типа штамповочного масла. Например, когда штамповочное масло является минеральным маслом, значение SP клея (X) более предпочтительно составляет  $8,2-8,9\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ . Когда штамповочное масло является изопарафиновым, значение SP клея (X) более предпочтительно составляет  $7,8-8,5\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ . Когда штамповочное масло является толуолом, значение SP клея (X) более предпочтительно составляет  $8,5-9,3\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ .

В качестве примера способа регулирования значения SP клея (X), например в случае клея на основе эпоксидной смолы, может быть приведен способ графт-полимеризации акриловой смолы на эпоксидной смоле. Когда акриловая смола подвергается графт-полимеризации на эпоксидной смоле, значение SP имеет тенденцию к уменьшению. В этом случае значение SP имеет тенденцию к уменьшению, когда степень полимеризации акриловой смолы увеличивается. Дополнительно значение SP может быть отрегулировано примешиванием добавки к клею (X). Например, когда клей (X) является клеем на основе эпоксидной смолы, значение SP клея (X) может быть уменьшено примешиванием добавки, имеющей меньшее значение SP, чем значение SP эпоксидной смолы (значение  $SP: \text{примерно } 10,9\ (\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ ), т.е. более низкую полярность.

Добавка для регулирования значения SP клея (X) может быть любой добавкой, которая не влияет на

адгезионную способность клея (X) или эксплуатационные характеристики электродвигателя. Например, в качестве примера может быть приведен по меньшей мере один растворитель из группы, имеющей значение  $SP\ 7,0-10,7\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$  и состоящей из н-пентана (значение  $SP: 7,0\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), н-гексана (значение  $SP: 7,3\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), диэтилового простого эфира (значение  $SP: 7,4\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), н-октана (значение  $SP: 7,6\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), винилхлорида (значение  $SP: 7,8\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), циклогексана, изобутилацетата (значение  $SP: 8,3\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), изопропилацетата (значение  $SP: 8,4\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), бутилацетата (значение  $SP: 8,5\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), тетрахлорида углерода (значение  $SP: 8,6\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), метилпропилкетона (значение  $SP: 8,7\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), ксилена (значение  $SP: 8,8\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), толуола, этилацетата (значение  $SP: 9,1\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), бензола (значение  $SP: 9,2\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), метилэтилкетона (значение  $SP: 9,3\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), метилхлорида (значение  $SP: 9,7\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), ацетона (значение  $SP: 9,9\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), дисульфида углерода (значение  $SP: 10,0\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ), уксусной кислоты ( $10,1\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ) и н-гексанола (значение  $SP: 10,7\ (\text{кал/см}^3)^{1/2}$ ). Дополнительно значение  $SP$  клея (X) может быть уменьшено примешиванием эластомера, такого как синтетический каучук, имеющий небольшое значение  $SP$ , как описано позже. Примешиваемая в клей (X) добавка может быть одного типа или двух или более типов.

В качестве примера клея (X) может быть приведен клей на основе эпоксидной смолы, содержащий эпоксидную смолу, или клей на основе акриловой смолы, содержащий акриловую смолу. Дополнительно клей на основе акриловой смолы не содержит эпоксидной смолы. Клей на основе эпоксидной смолы предпочтителен вследствие отличной теплостойкости и адгезионной способности. Клей на основе эпоксидной смолы содержит эпоксидную смолу и отвердитель. С точки зрения отличной теплостойкости, быстрого отверждения и адгезионной способности к маслу предпочтителен клей на основе эпоксидной смолы, дополнительно содержащий акриловую смолу в дополнение к эпоксидной смоле и отвердителю. Может быть использован клей на основе эпоксидной смолы, содержащий акрированную эпоксидную смолу, полученную графт-полимеризацией акриловой смолы на эпоксидной смоле.

Эпоксидная смола конкретно не ограничена и, например, эпоксидная смола типа бисфенола А, эпоксидная смола типа бисфенола F, эпоксидная смола типа бисфенола AD, эпоксидная смола глицидиламинного типа и алициклическая эпоксидная смола могут быть приведены в качестве примера. Среди них эпоксидная смола типа бисфенола F является предпочтительной с точки зрения низкой вязкости и отличной пригодности к обработке. Эпоксидная смола, содержащаяся в клее на основе эпоксидной смолы, может быть одного типа или двух или более типов.

Температура стеклования ( $T_g$ ) эпоксидной смолы предпочтительно составляет  $80-150^\circ\text{C}$ , более предпочтительно  $100-150^\circ\text{C}$ , а еще более предпочтительно  $120-150^\circ\text{C}$ . Когда  $T_g$  эпоксидной смолы равна или выше значения нижнего предела диапазона, легко получить сердечник статора, имеющий отличную теплостойкость и высокую механическую прочность. Когда  $T_g$  эпоксидной смолы равна или ниже значения верхнего предела диапазона, легко получить адгезию со стальным листом. Дополнительно  $T_g$  эпоксидной смолы является температурой средней точки стеклования, измеренной способом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) согласно JIS K 7121-1987.

Среднечисловая молекулярная масса ( $M_n$ ) эпоксидной смолы предпочтительно составляет 1200-20000, более предпочтительно 2000-18000, а еще более предпочтительно 2500-16000. Когда  $M_n$  эпоксидной смолы равна или больше значения нижнего предела диапазона, легко увеличить адгезионную прочность. Когда  $M_n$  эпоксидной смолы равна или меньше значения верхнего предела диапазона, легко подать высокую вязкость клея на основе эпоксидной смолы. Дополнительно  $M_n$  эпоксидной смолы может измеряться посредством эксклюзионной хроматографии по размеру (SEC), описанной в JIS K 7252-1:2008, с использованием полистирола в качестве стандартного вещества.

Отвердитель конкретно не ограничен, и может быть использован обычно используемый отвердитель эпоксидной смолы. Отвердитель может иметь тип отверждения при низкой температуре или комнатной температуре или может быть термоотверждающего типа. В качестве конкретных примеров отвердителя могут быть приведены, например, алифатические полиамины, ароматические полиамины, ангидриды кислот, фенольные новолачные смолы, фосфорорганические соединения и дициандиамиды (DICU). Отвердитель, содержащийся в клее на основе эпоксидной смолы, может быть одного типа или двух или более типов.

В качестве примера алифатического полиамина могут быть приведены, например, триэтилентетрамин, диэтилентриамин (DTA) и диэтиламинопропиламин (DEAPA). В качестве примера ароматического полиамина могут быть приведены, например, диаминодифенилметан (DDM), метафенилендиамин (MPDA) и диаминодифенилсульфон (DDS). В качестве примера ангидрида кислоты могут быть приведены, например, ангидрид фталевой кислоты, ангидрид гексагидрофталевой кислоты и ангидрид 4-метилгексагидрофталевой кислоты.

Фенольная новолачная смола является фенольной смолой новолачного типа, полученной посредством подвигания фенолов (фенолов и т.п.) и альдегидов (формальдегида и т.п.) реакции конденсации с помощью кислотного катализатора.

Фосфорорганическое соединение конкретно не ограничено, и, например, гексаметилфосфаттриамид, три(дихлоропропил)фосфат, три(хлоропропил)фосфат, трифенилфосфит, триметилфосфат, фенил-

фосфоновая кислота, трифенилфосфин, три-н-бутилфосфин и дифенилфосфин могут быть приведены в качестве примера.

В качестве отвердителя с точки зрения отличной теплостойкости предпочтителен отвердитель теплоотверждающего типа, фенольная новолачная смола и ароматический полиамин являются более предпочтительными, а с точки зрения того, что может быть легко получен сердечник статора, имеющий высокую механическую прочность, фенольная новолачная смола является особенно предпочтительной. Когда используются два или более типов отвердителей эпоксидной смолы, например, может быть упомянут аспект, в котором фенольная новолачная смола используется в качестве основного компонента и примешивается ароматический полиамин.

Количество отвердителя в клее на основе эпоксидной смолы может быть соответствующим образом задано согласно типу отвердителя. Например, когда используется фенольная новолачная смола, предпочтительны 5-35 мас.ч. на 100 мас.ч. эпоксидной смолы. Когда в качестве отвердителя используется фосфорорганическое соединение, количество фосфорорганического соединения предпочтительно составляет 5-35 мас.ч. на 100 мас.ч. эпоксидной смолы.

В клей на основе эпоксидной смолы может быть добавлен ускоритель отверждения. В качестве примера ускорителя отверждения могут быть приведены, например, третичные амины, вторичные амины и имидазолы. Ускоритель отверждения, содержащийся в клее на основе эпоксидной смолы, может быть одного типа или двух или более типов.

Акриловая смола конкретно не ограничена. В качестве примера мономера, используемого для акриловой смолы, могут быть приведены, например, ненасыщенные карбоновые кислоты, такие как акриловая кислота и метакриловая кислота и (мет)акрилат, такой как метил(мет)акрилат, этил(мет)акрилат, н-бутил(мет)акрилат, изобутил(мет)акрилат, циклогексил(мет)акрилат, 2-этилгексил(мет)акрилат, 2-гидроксиэтил(мет)акрилат и гидроксипропил(мет)акрилат. (Мет)акрилат означает акрилат или метакрилат. Акриловая смола, содержащаяся в клее (X), может быть одного типа или двух или более типов. Когда акриловая смола используется в качестве клея, она может содержаться в виде мономера, образующего акриловую смолу в клее перед отверждением.

Среднечисловая молекулярная масса ( $M_n$ ) акриловой смолы предпочтительно составляет 5000-100000, более предпочтительно 6000-80000, а еще более предпочтительно 7000-60000. Когда  $M_n$  акриловой смолы равна или больше значения нижнего предела диапазона, легко увеличить адгезионную прочность. Когда  $M_n$  акриловой смолы равна или меньше значения верхнего предела диапазона, легко подавить высокую вязкость клея (X). Дополнительно  $M_n$  акриловой смолы может быть измерена тем же способом, что и способ измерения  $M_n$  эпоксидной смолы.

Когда клей на основе эпоксидной смолы содержит акриловую смолу, количество акриловой смолы конкретно не ограничено и может быть задано равным, например 20-80 мас.% по отношению к суммарному количеству эпоксидной смолы и акриловой смолы. То же применяется к количеству акриловой смолы в акрилизованной эпоксидной смоле, полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, и количество акриловой смолы может быть задано равным, например, 20-80 мас.% по отношению к суммарной массе акрилизованной эпоксидной смолы.

Клей на основе эпоксидной смолы может содержать эластомер. Когда эластомер примешивается, средний модуль упругости на растяжение клеевой части 41 может регулироваться в конкретном диапазоне, а значит существует вклад в улучшение характеристик вязкости и текучести.

В качестве примера эластомера могут быть приведены натуральный каучук и синтетический каучук, и синтетический каучук предпочтителен. Эластомер, содержащийся в клее на основе эпоксидной смолы, может быть одного типа или двух или более типов.

В качестве примера синтетического каучука могут быть приведены, например, полибутадиеновый синтетический каучук, нитрильный синтетический каучук и хлоропеновый синтетический каучук. В качестве примера полибутадиенового синтетического каучука могут быть приведены, например, изопреновый каучук (IR), бутадиеновый каучук (BR), стиролбутадиеновый каучук (SBR), полиизобутилен (бутиловый каучук, IIR) и этиленпропилендиеновый каучук (EPDM). В качестве примера нитрильного синтетического каучука может быть приведены, например, акрилонитрилбутадиеновый каучук (NBR) и акриловый каучук (ACM). В качестве примера хлоропенового синтетического каучука может быть приведен хлоропеновый каучук (CR).

Эластомер, такой как EPDM (значение SP:  $7,9-8,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ ), SBR (значение SP:  $8,1-8,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ ), BR (значение SP:  $8,1-8,6 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ ) и NBR (значение SP:  $8,7-10,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ ), имеющий меньшее значение SP, чем значение SP эпоксидной смолы, может быть использован для регулирования значения SP клея (X). Когда такой эластомер используется, средний модуль упругости на растяжение также может регулироваться, в то же время улучшая адгезионную способность к маслу. Дополнительно, когда эластомер, имеющий меньшее значение SP, чем значение SP эпоксидной смолы, примешивается в клей (X), шихтованный сердечник может быть спроектирован, в частности, для низкой вибрации и шума. Механизм появления низких вибрации и шума из-за примешивания эластомера не всегда ясен, но это считается следствием прочности адгезии между листами электротехнической стали и увеличения характеристики поглощения вибрации благодаря эластомеру с небольшим значением SP.

В качестве примера предпочтительного клея на основе эпоксидной смолы могут быть приведены клей, содержащий эпоксидную смолу и фенольную новолачную смолу, клей, содержащий эпоксидную смолу, фенольную новолачную смолу и акриловую смолу, клей, содержащий эпоксидную смолу с  $T_g$  120-180°C и фосфорорганическое соединение, и клей, содержащий эпоксидную смолу, отвердитель эпоксидной смолы и эластомер.

В качестве примера более предпочтительного клея на основе эпоксидной смолы могут быть приведены клеи (X1)-(X6), имеющие следующие составы.

Клей (X1): клей, состоящий из 100 мас.ч. эпоксидной смолы и 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы.

Клей (X2): клей, состоящий из 100 мас.ч. эпоксидной смолы и 5-35 мас.ч. фосфорорганического соединения.

Клей (X3): клей, состоящий из 100 мас.ч. эпоксидной смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.

Клей (X4): клей, состоящий из 100 мас.ч. акрилизованной эпоксидной смолы, полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, и 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы.

Клей (X5): клей, состоящий из 100 мас.ч. акрилизованной эпоксидной смолы, полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.

Клей (X6): клей, состоящий из 100 мас.ч. эпоксидной смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-10 мас.ч. растворителя, имеющего значение  $SP$  7,0-10,7 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>.

В этих клеях (X1)-(X6) предпочтительные аспекты каждого из эпоксидной смолы, фосфорорганического соединения и эластомера могут быть соответствующим образом скомбинированы.

Когда клеевая часть 41 формируется из клея на основе эпоксидной смолы, содержащего эпоксидную смолу с  $T_g$  120-180°C, отвердитель эпоксидной смолы и эластомер, средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре клеевой части 41 предпочтительно составляет 1500-5000 МПа, а его средний модуль упругости на растяжение при 150°C предпочтительно составляет 1000-3000 МПа. В этом случае более предпочтительным является формирование клеевой части 41 клеем на основе эпоксидной смолы, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы с  $T_g$  120-180°C, 5-35 мас.ч. отвердителя эпоксидной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.

Средний модуль упругости на растяжение клеевой части 41 при комнатной температуре предпочтительно составляет 1500-5000 МПа, а более предпочтительно 1500-4000 МПа. Когда средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре равен или больше значения нижнего предела диапазона, характеристики магнитных потерь шихтованного сердечника являются превосходными. Когда средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре равен или меньше значения верхнего предела диапазона, прочность склеивания шихтованного сердечника является превосходной. Дополнительно средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре является значением, измеренным при 25°C резонансным методом после создания образца для измерения. В частности, образец может быть получен путем склеивания двух листов 40 электротехнической стали измеряемым клеем и отверждения клея с образованием клеевой части 41. Средний модуль упругости на растяжение для образца измеряют резонансным методом согласно JIS R 1602:1995. Затем получают средний модуль упругости на растяжение только клеевой части 41 посредством исключения влияния самого листа 40 электротехнической стали путем вычисления из среднего модуля упругости на растяжения (измеренного значения) образца. Поскольку полученный таким образом модуль упругости на растяжение образца равен среднему значению для всего шихтованного сердечника, это значение считается средним модулем упругости на растяжение. Состав задается таким, что средний модуль упругости на растяжение почти не изменяется в зависимости от положения укладки в направлении укладки или окружного положения вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Поэтому средний модуль упругости  $E$  на растяжение может быть установлен на значение, полученное измерением клеевой части 41 после отверждения в положении верхнего конца шихтованного сердечника.

Дополнительно средний модуль упругости на растяжение клеевой части 41 при 150°C предпочтительно составляет 1000-3000 МПа, более предпочтительно 1000-2800 МПа, а еще более предпочтительно 1000-2500. Когда средний модуль упругости на растяжение при 150°C равен или больше значения нижнего предела диапазона, прочность склеивания шихтованного сердечника является превосходной. Когда средний модуль упругости на растяжение при 150°C равен или меньше значения верхнего предела диапазона, характеристики магнитных потерь шихтованного сердечника являются превосходными. Дополнительно средний модуль упругости на растяжение при 150°C является значением, измеренным при 150°C резонансным методом. Средний модуль упругости на растяжение при 150°C измеряют тем же способом, что и способ измерения среднего модуля упругости на растяжение при комнатной температуре, отличной от этой температуры измерения.

Чтобы получать стабильную и достаточную адгезионную прочность, толщина клеевой части 41 предпочтительно составляет 1 мкм или больше. С другой стороны, когда толщина клеевой части 41 превышает 100 мкм, сила адгезии становится насыщенной. Дополнительно, по мере того, как клеевая часть



41 становится толстой, коэффициент заполнения уменьшается, и магнитные свойства, такие как магнитные потери сердечника статора, уменьшаются. 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 клеевой части 41 означает среднюю толщину клеевой части 41.

Средняя толщина клеевой части 41 более предпочтительно составляет 1,0 мкм или больше и 3,0 мкм или меньше. Когда средняя толщина клеевой части 41 меньше 1,0 мкм, невозможно получить достаточную силу адгезии, как описано выше. Поэтому значение нижнего предела средней толщины клеевой части 41 составляет 1,0 мкм, а более предпочтительно 1,2 мкм. Напротив, когда средняя толщина клеевой части 41 становится большей 3,0 мкм, возникает такая проблема, что величина деформации листа 40 электротехнической стали значительно увеличивается вследствие усадки во время термоотверждения. Поэтому значение верхнего предела средней толщины клеевой части 41 составляет 3,0 мкм, а более предпочтительно 2,6 мкм. Средняя толщина клеевой части 41 является средним значением шихтованного сердечника в целом. Средняя толщина клеевой части 41 почти не изменяется в зависимости от положения укладки в направлении укладки и окружного положения вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Поэтому средняя толщина клеевой части 41 может задаваться равной среднему значению числовых значений, измеренных в десяти или более местах в окружном направлении в положении верхнего конца шихтованного сердечника.

Дополнительно среднюю толщину клеевой части 41 можно регулировать, изменяя, например, наносимое количество клея. Дополнительно средний модуль упругости на растяжение клеевой части 41 можно регулировать посредством изменения, например, условий нагрева и условий давления, применяемых во время склеивания, типа отвердителя и т.п.

Клеевая часть 41 предусмотрена во множестве положений между листами 40 электротехнической стали, которые являются смежными друг с другом в направлении укладки. То есть обращенная в направлении укладки поверхность (первая поверхность) в листе 40 электростатической стали снабжена клеевой областью 42 и неклеевой областью 43, как показано на фиг. 3. Клеевая область 42 является областью, снабженной клеевой частью 41 на первой поверхности листа 40 электротехнической стали, т.е. областью, снабженной клеем (X), который отверждается без разделения, на первой поверхности листа 40 электротехнической стали. Неклеевая область 43 является областью, не снабженной клеевой частью 41 на первой поверхности листа 40 электротехнической стали, т.е. областью, не снабженной клеем (X), который отверждается без разделения, на первой поверхности листа 40 электротехнической стали. В сердечнике 21 статора является предпочтительным, чтобы клеевая часть 41 была предусмотрена частично между частями 22 спинки сердечника и между зубчатыми частями 23 среди смежных друг с другом в направлении укладки листов 40 электротехнической стали. Типично, клеевые части 41 размещены распределенными во множестве положений между смежными друг с другом в направлении укладки листами 40 электротехнической стали.

Фиг. 3 является примером рисунка размещения клеевой части 41. В этом примере клеевые части 41 сформированы в виде множества круглых точек. Более конкретно, множество клеевых частей 41 сформированы в части 22 спинки сердечника с одинаковыми угловыми интервалами в окружном направлении, имея форму точки со средним диаметром 12 мм. В каждой зубчатой части 23 множество клеевых частей 41 сформированы в радиальном направлении, имея форму точки со средним диаметром 8 мм. Средний диаметр, показанный в данном случае, является примером. Средний диаметр клеевой части 41 точечной формы части 22 спинки сердечника предпочтительно составляет 2-20 мм. Средний диаметр клеевой части 41 точечной формы каждой зубчатой части 23 предпочтительно составляет 2-15 мм. Кроме того, рисунок формирования по фиг. 3 является примером, и число, форма и размещение клеевой части 41, предусматриваемой между листами 40 электротехнической стали, могут быть соответствующим образом изменены при необходимости. Средний диаметр получают посредством измерения линейкой диаметра следа клея клеевой части 41, от которой отодран лист 40 электротехнической стали. Если форма следа клея на виде сверху не является идеальным кругом, его диаметр будет диаметром описанной окружности (идеального круга) следа клея на виде сверху.

#### **Способ изготовления шихтованного сердечника**

Далее будет описан способ изготовления клеено-шихтованного сердечника для статора согласно варианту осуществления настоящего изобретения со ссылкой на чертежи. Сердечник 21 статора может быть изготовлен повторением операции нанесения клея (X) на множество положений на поверхности листа 40 электротехнической стали, укладки листа 40 электротехнической стали на другой лист электротехнической стали, опрессовывания листов электротехнической стали и формирования клеевой части.

В дальнейшем будет описан способ изготовления сердечника 21 статора с использованием производственного устройства 100, показанного на фиг. 4. Сначала будет описано производственное устройство 100. В производственном устройстве 100 лист Р электротехнической стали пробивают множество раз штампами, размещенными на каждой станции, постепенно придавая ему форму листа 40 электротехнической стали, в то же время подавая с рулона С (листовой стали) в направлении стрелки F, наносят клей (X) на заданное положение нижней поверхности второго и последующего листов 40 электротехнической

стали, и штампованные листы 40 электротехнической стали последовательно укладывают и обжимают.

Как показано на фиг. 4, производственное устройство 100 включает в себя станцию 110 пробивки первой стадии, которая является ближайшей к рулону С, станцию 120 пробивки второй стадии, которая расположена ближе к стороне ниже по ходу в направлении транспортировки листа Р электротехнической стали относительно станции 110 пробивки, и станцию 130 нанесения клея, которая расположена ближе к стороне далее по ходу относительно станции 120 пробивки.

Станция 110 пробивки включает в себя стационарную пресс-форму 111, которая расположена под листом Р электротехнической стали, и штамп 112, который расположен над листом Р электротехнической стали. Станция 120 пробивки включает в себя стационарную пресс-форму 121, которая расположена под листом Р электротехнической стали, и штамп 122, который расположен над листом Р электротехнической стали. Станция 130 нанесения клея включает в себя аппликатор 131, имеющий множество форсунок, расположенных согласно рисунку размещения клеевых частей 41.

Производственное устройство 100 дополнительно включает в себя станцию 140 укладки, которая расположена в положении со стороны ниже по ходу от станции 130 нанесения клея. Станция 140 укладки включает в себя нагревательное устройство 141, стационарную пресс-форму 142 для придания внешней формы, теплоизоляционный элемент 143, штамп 144 для придания внешней формы и пружину 145. Нагревательное устройство 141, стационарная пресс-форма 142 для придания внешней формы и теплоизоляционный элемент 143 размещены под листом Р электротехнической стали. Штамп 144 для придания внешней формы и пружина 145 размещены над листом Р электротехнической стали.

#### **Этап пробивки**

В производственном устройстве 100 с вышеописанной конфигурацией лист Р электротехнической стали сначала последовательно подают с рулона С в направлении стрелки F на фиг. 4. Затем лист Р электротехнической стали сначала подвергают пробивке на станции 110 пробивки. Затем лист Р электротехнической стали подвергают пробивке на станции 120 пробивки. Посредством этих процессов пробивки лист Р электротехнической стали может приобрести форму листа 40 электротехнической стали, имеющего часть 22 спинки сердечника и множество зубчатых частей 23, показанных на фиг. 3. Однако, поскольку в этот момент стальной лист вырублен неполностью, процесс переходит к следующему этапу в направлении стрелки F.

#### **Этап нанесения**

На станции 130 нанесения клея следующего этапа клей (X) подают из каждой форсунки аппликатора 131 так, что клей (X) наносится на множество положений нижней поверхности листа 40 электротехнической стали в точечной форме.

#### **Этап укладки**

Затем лист Р электротехнической стали подают на станцию 140 укладки, вырубает штампом 144 для придания внешней формы и укладывают с высокой точностью. Например, когда во множестве положений внешнего окружного края части спинки сердечника формируют надрез и к этому надрезу прижимают линейку с боковой поверхности, возможно предотвратить сдвигание листов 40 электротехнической стали и укладывать их с более высокой точностью. Во время укладки лист 40 электротехнической стали воспринимает постоянное давление от пружины 145. Когда клей (X) является термореактивным, клей нагревают нагревательным устройством 141, например, до 150-160°C, чтобы способствовать его отверждению.

Когда описанные выше этап пробивки, этап нанесения и этап укладки повторяют последовательно, заданное число листов 40 электротехнической стали могут быть уложены друг на друга с помещенными между ними клеевыми частями 41. За счет вышеуказанных этапов совершают изготовление сердечника 21 статора.

Технический объем настоящего изобретения не ограничен вышеуказанным вариантом осуществления, и могут вноситься различные модификации без отступления от сущности настоящего изобретения.

Форма сердечника статора не ограничена формой, показанной в вышеуказанном варианте осуществления. В частности, размеры внешнего диаметра и внутреннего диаметра сердечника статора, толщина шихтованного пакета, число пазов, соотношение размеров между окружным направлением и радиальным направлением зубчатой части, соотношение размеров между зубчатой частью и частью спинки сердечника в радиальном направлении и т.п. могут быть спроектированы произвольно согласно характеристике требуемого электродвигателя.

В роторе по вышеуказанному варианту осуществления один набор из двух постоянных магнитов 32 образует один магнитный полюс, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, один постоянный магнит 32 может образовывать один магнитный полюс, и три или более постоянных магнита 32 могут образовывать один магнитный полюс.

В вышеуказанном варианте осуществления был описан пример, в котором электродвигатель представляет собой электродвигатель с постоянными магнитами, но конструкция электродвигателя не ограничена этим, как показано ниже. В конструкции электродвигателя можно дополнительно использовать различные известные конструкции, не показанные ниже. В вышеуказанном варианте осуществления был описан пример, в котором электродвигатель представляет собой электродвигатель с постоянными магни-

тами, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель может представлять собой реактивный электродвигатель или электродвигатель с электромагнитным возбуждением (двухобмоточный электродвигатель). В вышеуказанном варианте осуществления был описан пример, в котором электродвигатель переменного тока представляет собой синхронный электродвигатель, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель может представлять собой асинхронный электродвигатель. В вышеуказанном варианте осуществления был описан пример, в котором электродвигатель представляет собой электродвигатель переменного тока, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель может представлять собой электродвигатель постоянного тока. В вышеуказанном варианте осуществления был описан пример, в котором электродвигатель представляет собой двигатель, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель может представлять собой генератор.

В вышеуказанном варианте осуществления в качестве примера был приведен тот случай, в котором шихтованный сердечник согласно настоящему изобретению применяется в сердечнике статора, но шихтованный сердечник также может применяться в сердечнике ротора. Шихтованный сердечник может быть использован в трансформаторе вместо электродвигателя. В этом случае в качестве листа электротехнической стали может быть применен лист анизотропной электротехнической стали вместо листа изотропной электротехнической стали.

Помимо этого можно заменять компоненты в вышеуказанном варианте осуществления хорошо известными компонентами надлежащим образом без отступления от сущности настоящего изобретения. Кроме того, вышеуказанные модифицированные примеры могут быть надлежащим образом скомбинированы друг с другом.

Далее настоящее изобретение будет описано подробно посредством примеров, но настоящее изобретение не ограничено нижеприведенным описанием.

#### Значение SP

Значение SP клея измеряли следующим способом. Клей нанесли на поверхность листа изотропной электротехнической стали и нагрели до 120°C для отверждения. Значение SP растворителя, когда отвердевший продукт сдирали путем натирания различными растворителями с известными значениями SP, показанными в табл. 1, и растворения растворителя в отвердевшем продукте, устанавливали на значение SP клея. При измерении значения SP клея приготовили каждый растворитель, показанный в табл. 1, и смешанный растворитель, полученный соответствующим смешиванием двух их типов, чтобы отрегулировать значение SP, и проводили измерение значения SP с приращениями 0,1 в диапазоне от 7,0 до 11,4. Когда отвердевший продукт растворили во множестве растворителей и содрали, значение SP того растворителя, с которым отвердевший продукт был наиболее легко содран, среди этих растворителей было взято в качестве значения SP клея.

Таблица 1

| РАСТВОРИТЕЛЬ            | ЗНАЧЕНИЕ SP<br>[(кал/см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> ] | РАСТВОРИТЕЛЬ       | ЗНАЧЕНИЕ SP<br>[(кал/см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> ] |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| н-пентан                | 7,0                                                     | ксилен             | 8,8                                                     |
| н-гексан                | 7,3                                                     | толуол             | 8,9                                                     |
| диэтиловый простой эфир | 7,4                                                     | этилацетат         | 9,1                                                     |
| н-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                                                     | н-гексанол         | 10,7                                                    |
| метилпропилкетон        | 8,7                                                     | циклогексанол      | 11,4                                                    |

#### Модуль упругости на растяжение

Средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре измеряли при 25°C резонансным методом. Средний модуль упругости на растяжение при 150°C измеряли тем же методом, что и средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре, за исключением того, что температура измерения была 150°C.

#### Пример 1.

Клей (X-1) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F (T<sub>г</sub>: 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (X-1) было 8,1 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Образец для описываемого далее испытания на растяжение при сдвиге изготовили с использованием клея (X-1) и оценивали адгезионную способность к маслу. Кроме того, также оценивали вибрацию и шум шихтованного сердечника, изготовленного с использованием клея (X-1).

## Пример 2.

Клей (X-2) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 25 мас.ч. триамида гексаметилфосфорной кислоты в качестве фосфорорганического соединения. Значение SP полученного клея (X-2) было 8,5 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-2) вместо клея (X-1).

## Пример 3.

Клей (X-3) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 5 мас.ч. EPDM в качестве эластомера. Значение SP полученного клея (X-3) было 8,2 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-3) вместо клея (X-1). Кроме того, средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре клеевой части составил 3000 МПа, а ее средний модуль упругости на растяжение при 150°C составил 2000 МПа.

## Пример 4.

Клей (X-4) приготовили смешиванием 60 мас.ч. метилметакрилата и 40 мас.ч. циклогексилметакрилата. Значение SP полученного клея (X-4) было 10,2 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-4) вместо клея (X-1).

## Пример 5.

Клей (X-5) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 5 мас.ч. циклогексана в качестве растворителя. Значение SP полученного клея (X-5) было 8,0 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-5) вместо клея (X-1).

## Пример 6.

Клей (X-6) приготовили смешиванием 100 мас.ч. акрилизованной эпоксидной смолы (количество акриловой смолы: 30 мас.%), полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, и 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (X-6) было 7,8 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-6) вместо клея (X-1).

## Пример 7.

Клей (X-7) приготовили смешиванием 100 мас.ч. акрилизованной эпоксидной смолы (количество акриловой смолы: 30 мас.%), полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, 10 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 20 мас.ч. бутадиенового каучука в качестве эластомера. Значение SP полученного клея (X-7) было 9,1 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-7) вместо клея (X-1).

## Пример 8.

Клей (X-8) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола A ( $T_c$ : 110°C), полученной полимеризацией бисфенола A и эпихлорогидрина, и 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (X-8) было 8,0 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-8) вместо клея (X-1).

## Пример 9.

Клей (X-9) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 10 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (X-9) было 9,5 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-9) вместо клея (X-1).

## Пример 10.

Клей (X-10) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 30 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (X-10) было 7,9 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-10) вместо клея (X-1).

## Пример 11.

Клей (X-11) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 10 мас.ч. триамида гексаметилфосфорной кислоты в качестве фосфорорганического соединения. Значение SP полученного клея (X-11) было 9,9 (кал/см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup>. Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за

исключением того, что был использован клей (X-11) вместо клея (X-1).

#### Пример 12.

Клей (X-12) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 40 мас.ч. EPDM в качестве эластомера. Значение SP полученного клея (X-12) было  $7,9 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-12) вместо клея (X-1). Кроме того, средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре клеевой части составил 1600 МПа, а ее средний модуль упругости на растяжение при 150°C составил 1100 МПа.

#### Пример 13.

Клей (X-13) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 30 мас.ч. циклогексана в качестве растворителя. Значение SP полученного клея (X-13) было  $7,8 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-13) вместо клея (X-1).

#### Пример 14.

Клей (X-14) приготовили смешиванием 100 мас.ч. акрилизованной эпоксидной смолы (количество акриловой смолы: 60 мас.%), полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, и 10 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (X-14) было  $7,9 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-14) вместо клея (X-1).

#### Пример 15.

Клей (X-15) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы глицидиламинного типа ( $T_c$ : 160°C) и 25 мас.ч. триамида гексаметилфосфорной кислоты в качестве фосфорорганического соединения. Значение SP полученного клея (X-15) было  $8,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (X-15) вместо клея (X-1).

#### Сравнительный пример 1.

Клей (Y-1) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 3 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (Y-1) было  $10,8 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Образец для описываемого далее испытания на растяжение при сдвиге изготовили с использованием клея (Y-1) вместо клея (X-1) и оценивали адгезионную способность к маслу.

#### Сравнительный пример 2.

Клей (Y-2) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 2 мас.ч. триамида гексаметилфосфорной кислоты в качестве фосфорорганического соединения. Значение SP полученного клея (Y-2) было  $10,9 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Образец для описываемого далее испытания на растяжение при сдвиге изготовили с использованием клея (Y-2) вместо клея (X-1) и оценивали адгезионную способность к маслу.

#### Сравнительный пример 3.

Клей (Y-3) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 3 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 1 мас.ч. EPDM в качестве эластомера. Значение SP полученного клея (Y-3) было  $10,8 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Образец для описываемого далее испытания на растяжение при сдвиге изготовили с использованием клея (Y-3) вместо клея (X-1) и оценивали адгезионную способность к маслу. Кроме того, средний модуль упругости на растяжение при комнатной температуре клеевой части составил 1200 МПа, а ее средний модуль упругости на растяжение при 150°C составил 800 МПа.

#### Сравнительный пример 4.

Клей (Y-4) приготовили смешиванием 80 мас.ч. изобутилметакрилата и 20 мас.ч. полиметилметакрилата. Значение SP полученного клея (Y-4) было  $7,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Образец для описываемого далее испытания на растяжение при сдвиге изготовили с использованием клея (Y-4) вместо клея (X-1) и оценивали адгезионную способность к маслу.

#### Сравнительный пример 5.

Клей (Y-5) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ : 130°C), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 3 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 5 мас.ч. циклогексанола в качестве растворителя. Значение SP полученного клея (Y-5) было  $11,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-5) вместо клея (X-1).

#### Сравнительный пример 6.

Клей (Y-6) приготовили смешиванием 100 мас.ч. акрилизованной эпоксидной смолы (количество акриловой смолы: 85 мас.%), полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, и 20 мас.ч. феноль-

ной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (Y-6) было  $7,0 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-6) вместо клея (X-1).

Сравнительный пример 7.

Клей (Y-7) приготовили смешиванием 100 мас.ч. акриловой смолы (количество акриловой смолы: 75 мас.%), полученной графт-полимеризацией акриловой смолы, 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 60 мас.ч. этиленпропилендиенового каучука (EPDM) в качестве эластомера. Значение SP полученного клея (Y-7) было  $7,4 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-7) вместо клея (X-1).

Сравнительный пример 8.

Клей (Y-8) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола А ( $T_c$ :  $105^\circ\text{C}$ ), полученной полимеризацией бисфенола А и эпихлорогидрина, и 3 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (Y-8) было  $10,8 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-8) вместо клея (X-1).

Сравнительный пример 9.

Клей (Y-9) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ :  $130^\circ\text{C}$ ), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 40 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы. Значение SP полученного клея (Y-9) было  $7,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-9) вместо клея (X-1).

Сравнительный пример 10.

Клей (Y-10) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ :  $130^\circ\text{C}$ ), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, и 40 мас.ч. триамида гексаметилфосфорной кислоты в качестве фосфорорганического соединения. Значение SP полученного клея (Y-10) было  $7,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-10) вместо клея (X-1).

Сравнительный пример 11.

Клей (Y-11) приготовили смешиванием 100 мас.ч. эпоксидной смолы типа бисфенола F ( $T_c$ :  $130^\circ\text{C}$ ), полученной полимеризацией эпихлорогидрина и бисфенола F, 20 мас.ч. фенольной новолачной смолы в качестве отвердителя эпоксидной смолы и 60 мас.ч. EPDM в качестве эластомера. Значение SP полученного клея (Y-11) было  $7,6 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ . Адгезионную способность к маслу, вибрацию и шум оценивали аналогично примеру 1 за исключением того, что был использован клей (Y-11) вместо клея (X-1).

#### Оценка адгезионной способности к маслу

Адгезионную способность к маслу оценивали согласно следующим критериям оценки посредством приготовления образца для испытания на растяжение при сдвиге согласно JIS K 6850:1999 и измерения адгезионной прочности. Два прямоугольных тестовых стальных листа (с шириной 25 мм × длиной 100 мм) вырезали из стального листа с толщиной 0,3 мм и с составом листа изотропной электротехнической стали, содержащим Si: 3,0 мас.%, Al: 0,5 мас.% и Mn: 0,1 мас.%. Минеральное масло (значение SP:  $8,5 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ ), которое является штамповочным маслом, нанесли на всю одну поверхность каждого тестового стального листа, так что нанесенное количество составило  $50 \text{ мг/м}^2$ . Клей нанесли на часть от переднего края масляной поверхности одного тестового стального листа до положения 10 мм, так что нанесенное количество составило  $1 \text{ г/м}^2$ , а другой тестовый стальной лист наложили на этот тестовый стальной лист так, что их масляные поверхности были обращены друг к другу, соприкасаясь в части от переднего края до положения 10 мм. Их нагрели и прижали в условиях температуры  $100^\circ\text{C}$  и давления 100 Па, в результате чего был получен образец для испытания на растяжение при сдвиге. Окружающая среда при испытании на растяжение была комнатной температуры ( $25^\circ\text{C}$ ). Скорость испытания составляла 3 мм/мин. Результат показан в табл. 2.

#### Критерии оценки

- A: Прочность адгезии, равная или большая  $250 \text{ кгс/см}^2$ .
- B: Прочность адгезии, равная или большая  $200 \text{ кгс/см}^2$  и меньшая  $250 \text{ кгс/см}^2$ .
- C: Прочность адгезии, равная или большая  $150 \text{ кгс/см}^2$  и меньшая  $200 \text{ кгс/см}^2$ .
- D: Прочность адгезии, равная или большая  $100 \text{ кгс/см}^2$  и меньшая  $150 \text{ кгс/см}^2$ .
- E: Прочность адгезии, равная или большая  $70 \text{ кгс/см}^2$  и меньшая  $100 \text{ кгс/см}^2$ .
- F: Прочность адгезии, равная или большая  $50 \text{ кгс/см}^2$  и меньшая  $70 \text{ кгс/см}^2$ .
- G: Прочность адгезии, равная или большая  $10 \text{ кгс/см}^2$  и меньшая  $50 \text{ кгс/см}^2$ .
- H: Прочность адгезии, меньшая  $10 \text{ кгс/см}^2$ .

#### Оценка вибрации и шума

#### Изготовление сердечника статора для испытания

Приготовили листовую сталь с составом листов изотропной электромеханической стали, содержа-

щим Si - 3,0 мас.%, Al - 0,5 мас.% и Mn - 0,1 мас.%. Толщина стальной основы была 0,3 мм. На листовую сталь нанесли агент для формирования изоляционного покрытия, содержащий фосфат металла и эмульсию акриловой смолы, и обожгли при 300°C для нанесения заданного количества изоляционного покрытия. Эту листовую сталь (лист электротехнической стали) вырубали в одиночную пластину сердечника с восемнадцатью прямоугольными зубчатыми частями на внутренней радиальной стороне, имевшими длину 30 мм и ширину 15 мм, в кольцевой форме, имевшей внешний диаметр 300 мм и внутренний диаметр 240 мм, согласно следующим этапам с использованием производственного устройства 100, имевшего показанное на фиг. 4 строение, и одиночные пластины сердечника последовательно укладывали друг на друга, создавая сердечник статора. Листовую сталь последовательно подавали с рулона С в направлении стрелки F на фиг. 4. Затем эту листовую сталь сначала пробивали на станции 110 пробивки, а затем эту листовую сталь пробивали на станции 120 пробивки. Посредством этих процессов пробивки листовой стали придали форму листа 40 электротехнической стали, включающего в себя часть 22 спинки сердечника и множество зубчатых частей 23, показанные на фиг. 3 (этап пробивки). Далее клей каждого примера нанесли в заданном положении нижней поверхности (первой поверхности) части 22 спинки сердечника и зубчатой части 23 листовой стали в точечной форме, как показано на фиг. 3, на станции 130 нанесения клея и с помощью аппликатора 131 (этап нанесения). Средний диаметр клеевой части зубчатой части 23 был 5 мм, а средний диаметр клеевой части части 22 спинки сердечника был 7 мм. Далее листовую сталь, поданную на станции 150 укладки, вырубали в одиночную пластину сердечника штампом 154 для придания внешней формы, и одиночные пластины сердечника укладывали друг на друга в сжатом состоянии (этап укладки). В это время одиночные пластины сердечника нагревали при 80°C посредством нагревательного устройства 151, чтобы способствовать отверждению клея. Этап пробивки, этап нанесения и этап укладки последовательно повторяли, получив сердечник статора для испытания, в котором было уложено друг на друга 130 одиночных пластин сердечника.

#### Испытание простукиванием (оценка вибрации и шума)

Ударным молотком вызывали вибрацию внешнего окружного конца части спинки полученного для испытания сердечника статора в радиальном направлении посредством и выполняли модальный анализ шума и вибрации с кончиком зубчатой части и центром части спинки сердечника на 180°C в осевом направлении относительно источника вибрации в качестве точек измерения. К тому же, когда ударным молотком вызывали вибрацию центра части спинки сердечника в радиальном направлении, модальный анализ шума и вибрации выполняли с кончиком зубчатой части и центром части спинки сердечника на 180°C в осевом направлении относительно источника вибрации в качестве точек измерения. Оценку выполняли согласно следующим критериям. Она означает, что шум и вибрация могут подавляться по мере того, как числовое значение становится меньшим.

- 1) Обнаруживаются только один или два пика вибрации.
- 2) Обнаруживаются несколько пиков вибрации.
- 3) Обнаруживаются десять или более пиков вибрации в зависимости от направления вибрации.
- 4) Хотя существует главный пик, обнаруживаются десять или более пиков вибрации.
- 5) Нет главного пика, и обнаруживаются десять или более пиков вибрации.

Таблица 2

|          | Клей |                                                      | Адгезионная способность к маслу          |        | Оценка вибрации и шума |
|----------|------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------|------------------------|
|          | Тип  | Значение SP [(кал/см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> ] | Прочность адгезии [кгс/см <sup>2</sup> ] | Оценка |                        |
| Пример 1 | X-1  | 8,1                                                  | 220                                      | B      | 2                      |
| Пример 2 | X-2  | 8,5                                                  | 260                                      | A      | 1                      |
| Пример 3 | X-3  | 8,2                                                  | 250                                      | A      | 1                      |
| Пример 4 | X-4  | 10,2                                                 | 160                                      | C      | 3                      |

|                         |      |      |     |   |   |
|-------------------------|------|------|-----|---|---|
| Пример 5                | X-5  | 8,0  | 200 | B | 2 |
| Пример 6                | X-6  | 7,8  | 150 | C | 3 |
| Пример 7                | X-7  | 9,1  | 240 | B | 2 |
| Пример 8                | X-8  | 8,0  | 210 | B | 2 |
| Пример 9                | X-9  | 9,5  | 220 | B | 2 |
| Пример 10               | X-10 | 7,9  | 160 | C | 3 |
| Пример 11               | X-11 | 9,9  | 210 | B | 2 |
| Пример 12               | X-12 | 7,9  | 170 | C | 3 |
| Пример 13               | X-13 | 7,8  | 160 | C | 3 |
| Пример 14               | X-14 | 7,9  | 170 | C | 3 |
| Пример 15               | X-15 | 8,4  | 270 | A | 1 |
| Сравнительный пример 1  | Y-1  | 10,8 | 140 | D | 4 |
| Сравнительный пример 2  | Y-2  | 10,9 | 130 | D | 4 |
| Сравнительный пример 3  | Y-3  | 10,8 | 140 | D | 4 |
| Сравнительный пример 4  | Y-4  | 7,5  | 65  | F | 5 |
| Сравнительный пример 5  | Y-5  | 11,0 | 90  | E | 5 |
| Сравнительный пример 6  | Y-6  | 7,0  | 5   | H | 5 |
| Сравнительный пример 7  | Y-7  | 7,4  | 20  | G | 5 |
| Сравнительный пример 8  | Y-8  | 10,8 | 140 | D | 4 |
| Сравнительный пример 9  | Y-9  | 7,5  | 60  | F | 5 |
| Сравнительный пример 10 | Y-10 | 7,7  | 45  | G | 5 |
| Сравнительный пример 11 | Y-11 | 7,6  | 35  | G | 5 |

### Промышленная применимость

Согласно настоящему изобретению возможно улучшить прочность адгезии между штампованными листами электротехнической стали в шихтованном сердечнике. Таким образом, промышленная применимость является большой.

### Краткое описание ссылочных обозначений

- 10 - Электродвигатель
- 20 - Статор
- 21 - Клеено-шихтованный сердечник для статора
- 40 - Лист электротехнической стали
- 41 - Клеевая часть

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Шихтованный сердечник, содержащий множество листов электротехнической стали, которые уложены друг на друга и обе поверхности которых покрыты изоляционным покрытием; и клеевую часть, которая расположена между смежными друг с другом в направлении укладки листами электротехнической стали и склеивает листы электротехнической стали друг с другом, при этом все наборы смежных друг с другом в направлении укладки листов электротехнической стали склеены друг с другом множеством клеевых частей между листами электротехнической стали, при этом клеевые части предусмотрены во множестве положений между листами электротехнической стали и при этом клеевая часть выполнена из клея, содержащего какую-либо одну или обе из акриловой смолы и эпоксидной смолы и имеющего значение параметра растворимости Гильдебранда  $7,8-10,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ .
2. Шихтованный сердечник по п.1, при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, содержащим эпоксидную смолу и фенольную новолачную смолу.
3. Шихтованный сердечник по п.2, при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы и 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы.
4. Шихтованный сердечник по п.2, при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.
5. Шихтованный сердечник по п.2, при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-35 мас.ч. растворителя, имеющего значение параметра растворимости Гильдебранда  $7,0-10,7 \text{ (кал/см}^3)^{1/2}$ .
6. Шихтованный сердечник по п.2, при этом клей на основе эпоксидной смолы дополнительно содержит акриловую смолу.
7. Шихтованный сердечник по п.6, при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, со-



стоящим из 100 мас.ч. акрилированной эпоксидной смолы, полученной графт-полимеризацией с акриловой смолой, и 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы.

8. Шихтованный сердечник по п.6, при этом клей на основе эпоксидной смолы является клеем, состоящим из 100 мас.ч. акрилированной эпоксидной смолы, полученной графт-полимеризацией с акриловой смолой, 5-35 мас.ч. фенольной новолачной смолы и 5-50 мас.ч. эластомера.

9. Шихтованный сердечник по п.1, при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, содержащим эпоксидную смолу с температурой стеклования 120-180°C и фосфорорганическое соединение.

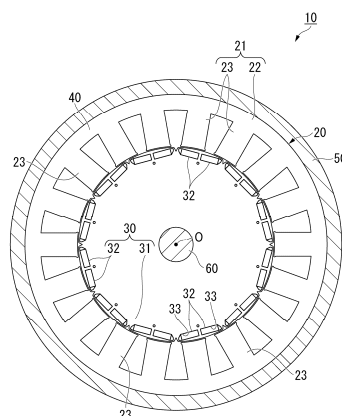
10. Шихтованный сердечник по п.1, при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, состоящим из 100 мас.ч. эпоксидной смолы и 5-35 мас.ч. фосфорорганического соединения.

11. Шихтованный сердечник по п.1, при этом клей является клеем на основе эпоксидной смолы, содержащим эпоксидную смолу, отвердитель эпоксидной смолы и эластомер, и при этом средний модуль упругости на растяжение клеевой части при комнатной температуре составляет 1500-5000 МПа, а ее средний модуль упругости на растяжение при 150°C составляет 1000-3000 МПа.

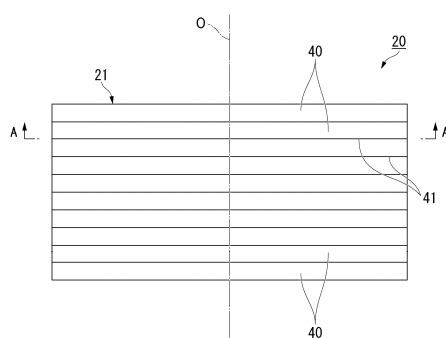
12. Шихтованный сердечник по любому из пп.1-11, при этом шихтованный сердечник является клеено-шихтованным сердечником для статора.

13. Электродвигатель, содержащий шихтованный сердечник по любому из пп.1-12.

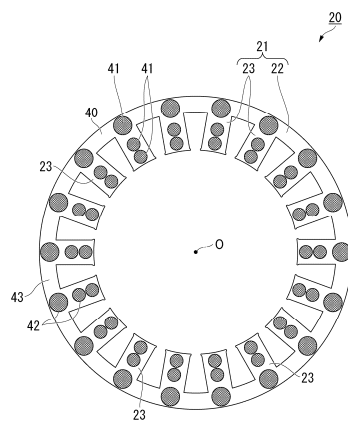
14. Способ изготовления шихтованного сердечника по п.1, в котором повторяют операцию нанесения клея на поверхность листа электротехнической стали, укладки листа электротехнической стали на другой лист электротехнической стали, опрессовывания листов электротехнической стали и формирования клеевой части.



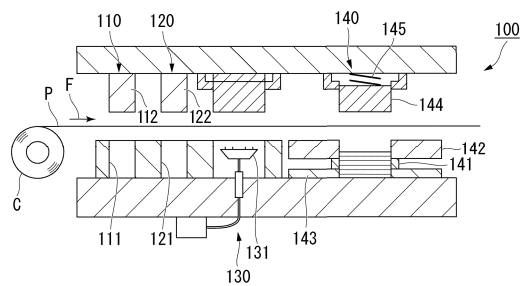
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

