

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042857**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.03.30

(51) Int. Cl. **H02K 15/02** (2006.01)
H02K 1/18 (2006.01)

(21) Номер заявки
202192070

(22) Дата подачи заявки
2019.12.17

(54) **КЛЕЕНО-ШИХТОВАННЫЙ СЕРДЕЧНИК ДЛЯ СТАТОРА, СПОСОБ ЕГО
ПРОИЗВОДСТВА И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ**

(31) **2018-235870**

(56) JP-A-2016171652
JP-A-201711863
JP-A-2005269732
JP-A-7298567

(32) **2018.12.17**

(33) **JP**

(43) **2021.11.08**

(86) **PCT/JP2019/049269**

(87) **WO 2020/129927 2020.06.25**

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

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

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

(57) Предлагается электродвигатель, который включает в себя клеено-шихтованный сердечник для статора, обладающий превосходной производительностью и высокой механической прочностью и таким образом способный снижать вибрацию и шум электродвигателя и подавлять магнитные потери. Клеено-шихтованный сердечник для статора включает в себя множество электротехнических стальных листов, которые уложены друг на друга и каждый из которых покрыт с обеих сторон изоляционным покрытием, и клеевую часть, расположенную между электротехническими стальными листами, смежными друг другу в направлении укладки, и выполненную с возможностью вызывать склеивание электротехнических стальных листов друг с другом, причем все наборы электротехнических стальных листов, смежных друг другу в направлении укладки, склеены клеевой частью, клей, образующий клеевую часть, включает в себя клей быстро отверждающегося типа и терморезактивный клей, и клеевая часть частично предусмотрена между электротехническими стальными листами, смежными друг другу в направлении укладки.

042857
B1

042857
B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к клеено-шихтованному сердечнику для статора, способу его производства и электродвигателю. Приоритет испрашивается по заявке на патент Японии № 2018-235870, поданной 17 декабря 2018 г., содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Предпосылки изобретения

Традиционно в качестве используемого в электродвигателе сердечника известен шихтованный сердечник, в котором множество листов электротехнической стали уложены друг на друга. Множество листов электротехнической стали соединены таким способом, как сварка, склеивание, скрепление и т.п. Однако соединение сваркой или скреплением затрудняет уменьшение вибрации электродвигателя и получение высокой механической прочности.

Патентный документ 1 раскрывает шихтованный сердечник, в котором листы электротехнической стали шихтуются и частично склеиваются с помощью клея на основе цианоакрилата, а затем листы электротехнической стали полностью склеиваются друг с другом посредством вакуумной пропитки эпоксидной смолой. Патентный документ 2 раскрывает шихтованный сердечник, в котором пакет из набранных листов электротехнической стали покрывается моментальным клеем на основе цианоакрилата на его боковой поверхности для временного закрепления, а затем листы электротехнической стали полностью склеиваются друг с другом посредством пропитки терморезактивной смолой, такой как эпоксидная смола.

Список литературы

Патентные документы.

Патентный документ 1. Японская нерассмотренная патентная заявка, первая публикация № 2003-264962.

Патентный документ 2. Японская нерассмотренная патентная заявка, первая публикация № 2005-019642.

Сущность изобретения

Проблемы, решаемые изобретением.

Однако обычные способы, такие как описанные в патентных документах 1 и 2, имеют низкую производительность, а магнитные потери, которые могут возникать в электродвигателе, не могут быть в достаточной степени подавлены.

Задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить клеено-шихтованный сердечник для статора, имеющий превосходную производительность и высокую механическую прочность и таким образом способный снижать вибрацию и шум электродвигателя и подавлять магнитные потери, способ его производства, а также электродвигатель, включающий в себя этот клеено-шихтованный сердечник для статора.

Средства для решения проблемы

Один вариант осуществления настоящего изобретения включает в себя следующие аспекты.

[1] Клеено-шихтованный сердечник для статора, включающий множество листов электротехнической стали, которые уложены друг на друга и обе поверхности которых покрыты изоляционным покрытием, и клеевую часть, которая расположена между листами электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки, и склеивает листы электротехнической стали друг с другом, в котором все наборы листов электротехнической стали, смежных друг другу в направлении укладки, склеены множеством клеевых частей, причем клей, образующий клеевую часть, включает в себя клей быстро отверждающегося типа и терморезактивный клей, и клеевая часть частично предусмотрена между листами электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки.

[2] Клеено-шихтованный сердечник для статора по пункту [1], в котором клеевая часть включает в себя первую клеевую часть, образованную клеем быстро отверждающегося типа, и вторую клеевую часть, образованную терморезактивным клеем.

[3] Клеено-шихтованный сердечник для статора по пункту [2], в котором клеевая часть включает в себя первую клеевую часть, предусмотренную между зубчатыми частями листов электротехнической стали, и вторую клеевую часть, предусмотренную между частями спинки сердечника листов электротехнической стали.

[4] Клеено-шихтованный сердечник для статора по пункту [2] или [3], в котором первая клеевая часть имеет форму точек со средним диаметром 3 мм или больше и 7 мм или меньше, вторая клеевая часть имеет форму точек со средним диаметром 5 мм или больше и 10 мм или меньше, и доля площади адгезии первой клеевой части составляет 5% или больше и 50% или меньше, а доля площади адгезии второй клеевой части составляет 50% или больше и 95% или меньше относительно общей площади адгезии клеевой части между листами электротехнической стали.

[5] Клеено-шихтованный сердечник для статора по пункту [2] или [3], в котором первая клеевая часть имеет форму точек со средним диаметром 3 мм или больше и 7 мм или меньше, вторая клеевая часть имеет форму точек со средним диаметром 5 мм или больше и 10 мм или меньше, и доля площади адгезии первой клеевой части составляет 5% или больше и менее 50%, а доля площади адгезии второй клеевой части составляет 50% или больше и 95% или меньше относительно общей площади адгезии кле-

евой части между листами электротехнической стали.

[6] Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пунктов [1]-[5], в котором клей быстро отверждающегося типа представляет собой клей на основе цианоакрилата.

[7] Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пунктов [1]-[6], в котором термореактивный клей представляет собой клей на основе эпоксидной смолы, содержащий эпоксидную смолу, имеющую температуру стеклования 80°C или выше и 150°C или ниже.

[8] Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пунктов [1]-[7], в котором между листами электротехнической стали отношение площади адгезии Q_{B0} клеевой части к зубчатой части составляет 10% или больше и 70% или меньше, а отношение площади адгезии Q_{A0} клеевой части к части спинки сердечника составляет 40% или больше и 90% или меньше.

[9] Способ производства клеено-шихтованного сердечника для статора, представляющий собой способ производства клеено-шихтованного сердечника для статора по пункту [1], включающий повторные операции, на которой клей быстро отверждающегося типа и термореактивный клей наносят на часть поверхности листа электротехнической стали, лист электротехнической стали укладывают на другой лист электротехнической стали, а затем листы электротехнической стали опрессовывают, образуя клеевую часть.

[10] Электродвигатель, включающий клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пунктов [1]-[8].

Эффекты изобретения

В соответствии с настоящим изобретением можно обеспечить клеено-шихтованный сердечник для статора, обладающий превосходной производительностью и высокой механической прочностью и таким образом способный снижать вибрацию и шум электродвигателя и подавлять магнитные потери, способ его производства, а также электродвигатель, включающий в себя этот клеено-шихтованный сердечник для статора.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 - вид в разрезе электродвигателя, включающего в себя клеено-шихтованный сердечник для статора в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 - вид сбоку шихтованного сердечника для статора.

Фиг. 3 - вид в разрезе вдоль линии А-А на фиг. 2, иллюстрирующий пример рисунка расположения клеевой части клеено-шихтованного сердечника для статора.

Фиг. 4 - вид сбоку, иллюстрирующий схематическую конфигурацию устройства для производства клеено-шихтованного сердечника для статора.

Варианты осуществления изобретения

Далее со ссылками на приложенные чертежи будет описан клеено-шихтованный сердечник для статора в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения и электродвигатель, включающий в себя этот клеено-шихтованный сердечник для статора. В настоящем варианте осуществления в качестве одного примера электродвигателя будет описан электродвигатель переменного тока, более конкретно синхронный двигатель, а еще более конкретно электродвигатель с постоянными магнитами. Двигатель этого типа подходящим образом применяется, например, в электрическом автомобиле (электромобиле).

Как проиллюстрировано на фиг. 1, электродвигатель 10 включает в себя статор 20, ротор 30, корпус 50 и вращающийся вал 60. Статор 20 и ротор 30 заключены в корпусе 50. Статор 20 прикреплен к внутренней стороне корпуса 50. В настоящем варианте осуществления в качестве электродвигателя 10 используется электродвигатель с внутренним ротором, в котором ротор 30 расположен с радиально внутренней стороны от статора 20. Однако в качестве электродвигателя 10 может также использоваться электродвигатель с внешним ротором, в котором ротор 30 расположен с внешней стороны от статора 20. Кроме того, в настоящем варианте осуществления электродвигатель 10 представляет собой 12-полюсный 18-пазовый трехфазный электродвигатель переменного тока. Однако число полюсов, число пазов, число фаз и т.п. может быть изменено сообразно обстоятельствам. Электродвигатель 10 может вращаться со скоростью 1000 об/мин при подаче на каждую фазу, например, тока возбуждения, имеющего эффективное значение 10 А и частоту 100 Гц.

Статор 20 включает в себя клеено-шихтованный сердечник 21 для статора (именуемый в дальнейшем сердечником 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, а 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 выполнена с кольцевой формой на виде статора 20 сверху вдоль осевого направления. Множество зубчатых частей 23 выступают внутрь в радиальном направлении (к центральной оси О части 22 спинки сердечника в радиальном направлении) из внутренней окружности части

22 спинки сердечника. Множество зубчатых частей 23 расположены с равноугловыми интервалами в окружном направлении. В настоящем варианте осуществления предусмотрено 18 зубчатых частей 23 через каждые 20° в терминах центрального угла с центральной осью О в качестве центра. Множество зубчатых частей 23 выполнены имеющими одинаковую форму и одинаковые друг с другом размеры. Следовательно, множество зубчатых частей 23 имеют одинаковый друг с другом размер по толщине, вокруг зубчатых частей 23 намотаны обмотки. Обмотки могут быть концентрированными обмотками или распределенными обмотками.

Ротор 30 расположен с радиально внутренней стороны относительно статора 20 (сердечника 21 статора). Ротор 30 включает в себя сердечник 31 ротора и множество постоянных магнитов 32. Сердечник 31 ротора выполнен в форме кольца (кольцевой формы), расположенного коаксиально со статором 20. Вращающийся вал 60 расположен в сердечнике 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 расположены с равноугловыми интервалами в окружном направлении. В настоящем варианте осуществления имеется 12 наборов постоянных магнитов 32 (всего 24 магнита) через каждые 30° в терминах центрального угла с центральной осью О в качестве центра.

В настоящем варианте осуществления в качестве электродвигателя с постоянными магнитами используется 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 расположению множества постоянных магнитов 32. Каждый из постоянных магнитов 32 прикреплен к сердечнику 31 ротора в состоянии, в котором он расположен внутри соответствующего сквозного отверстия 33. Крепление каждого постоянного магнита 32 к сердечнику 31 ротора может быть реализовано, например, посредством склеивания внешней поверхности постоянного магнита 32 и внутренней поверхности сквозного отверстия 33 друг с другом с использованием клея или т.п. Кроме того, в качестве электродвигателя с постоянными магнитами вместо электродвигателя с внутренними постоянными магнитами может быть использован электродвигатель с поверхностными постоянными магнитами.

Сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора оба являются шихтованными сердечниками. Как проиллюстрировано на фиг. 2, сердечник 21 статора может быть сформирован, например, путем шихтования множества листов 40 электротехнической стали. Кроме того, толщина шихтованного пакета (вся длина вдоль центральной оси О) каждого из сердечника 21 статора и сердечника 31 ротора может составлять, например, 50,0 мм. Наружный диаметр сердечника 21 статора может составлять, например, 250,0 мм. Внутренний диаметр сердечника 21 статора может составлять, например, 165,0 мм. Наружный диаметр сердечника 31 ротора может составлять, например, 163,0 мм. Внутренний диаметр сердечника 31 ротора может составлять, например, 30,0 мм. Однако эти значения являются примерными, и толщина шихтованного пакета, наружный диаметр и внутренний диаметр сердечника 21 статора, а также толщина шихтованного пакета, наружный диаметр и внутренний диаметр сердечника 31 ротора не ограничены только этими значениями. Здесь для определения внутреннего диаметра сердечника 21 статора используется кромочный участок зубчатой части 23 сердечника 21 статора. То есть, внутренний диаметр сердечника 21 статора является диаметром виртуального круга, вписанного в кромочные участки всех зубчатых частей 23.

Каждый из листов 40 электротехнической стали, образующих сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора, может быть сформирован, например, путем пробивки листа электротехнической стали, служащего основным материалом, или т.п. В качестве листа 40 электротехнической стали может использоваться известный лист электротехнической стали. Химический состав листа 40 электротехнической стали конкретно не ограничен. В настоящем варианте осуществления в качестве листа 40 электротехнической стали используется лист изотропной электротехнической стали. В качестве листа изотропной электротехнической стали может быть использована, например, полоса изотропной электротехнической стали по стандарту JIS C 2552:2014. Однако в качестве листа 40 электротехнической стали также можно использовать лист анизотропной электротехнической стали вместо листа изотропной электротехнической стали. В качестве листа анизотропной электротехнической стали может быть использована, например, полоса анизотропной электротехнической стали по стандарту JIS C 2553:2012.

Для того, чтобы улучшить обрабатываемость листов электротехнической стали и магнитные потери сердечника статора, обе стороны листов 40 электротехнической стали предпочтительно покрыты изоляционным покрытием. В качестве материала, составляющего изоляционное покрытие, может использоваться, например, (1) неорганическое соединение, (2) органическая смола, (3) смесь неорганического соединения и органической смолы или т.п. В качестве примера неорганического соединения может быть приведено, например, (1) соединение дихромата и борной кислоты, и (2) соединение фосфата и диоксида кремния (кремнезема), или т.п. В качестве органической смолы может использоваться эпоксидная смола, акриловая смола, акрил-стирольная смола, полиэфирная смола, силиконовая смола, фторкаучук или т.п.

Когда листы 40 электротехнической стали покрываются изоляционным покрытием, толщина изоляционного покрытия (средняя толщина на одну поверхность листа 40 электротехнической стали) предпоч-

тительно составляет 0,1 мкм или больше, чтобы обеспечить характеристики изоляции между шихтованными друг на друга листами 40 электротехнической стали. С другой стороны, по мере того, как изоляционное покрытие становится толще, изолирующий эффект насыщается. Кроме того, по мере роста толщины изоляционного покрытия коэффициент заполнения уменьшается, а характеристики сердечника статора ухудшаются. Поэтому изоляционное покрытие предпочтительно делается тонким в том диапазоне, в котором может быть обеспечена эффективность изоляции. Толщина изоляционного покрытия (толщина на одну поверхность листа 40 электротехнической стали) предпочтительно составляет 0,1 мкм или больше и 2,0 мкм или меньше, а более предпочтительно 0,3 мкм или больше и 1,2 мкм или меньше.

По мере уменьшения толщины листа 40 электротехнической стали эффект улучшения магнитных потерь постепенно насыщается. Кроме того, по мере уменьшения толщины листа 40 электротехнической стали увеличивается себестоимость производства листа 40 электротехнической стали. Поэтому, с учетом эффекта улучшения магнитных потерь и производственных затрат толщина листа 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 0,10 мм или больше. С другой стороны, если лист 40 электротехнической стали является слишком толстым, магнитные потери увеличиваются. Поэтому, с учетом характеристик магнитных потерь листа 40 электротехнической стали, его толщина предпочтительно составляет 0,35 мм или меньше, а более предпочтительно 0,20 мм или 0,25 мм. С учетом вышеописанных моментов толщина каждого листа 40 электротехнической стали может составлять, 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. Кроме того, толщина листа 40 электротехнической стали включает толщину изоляционного покрытия.

Как проиллюстрировано на фиг. 2, в сердечнике 21 статора между всеми наборами листов 40 электротехнической стали, смежных друг другу в направлении укладки, частично предусмотрена клеевая часть 41, которая вызывает склеивание листов 40 электротехнической стали друг с другом. Все наборы листов 40 электротехнической стали, смежных друг другу в направлении укладки, шихтуются через клеевую часть 41, которая частично обеспечивается между ними. Листы 40 электротехнической стали, смежные друг другу в направлении укладки, не фиксируются другими средствами (например, скреплением или т.п.).

Клеевая часть 41 предназначена для склеивания листов 40 электротехнической стали, смежных друг другу в направлении укладки. Клеевая часть 41 является клеем, который отверждается без разделения. Как проиллюстрировано на фиг. 3, клеевая часть 41 включает в себя первую клеевую часть 41a и вторую клеевую часть 41b. Первая клеевая часть 41a является клеем быстро отверждающегося типа, который отверждается без разделения. Вторая клеевая часть 41b является терморезактивным клеем, который отверждается без разделения. Первая клеевая часть 41a и вторая клеевая часть 41b формируются в точечной форме между листами 40 электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки.

Толщина клеевой части 41 предпочтительно составляет 1 мкм или больше, чтобы получить устойчивую и достаточную адгезионную прочность. С другой стороны, когда толщина клеевой части 41 превышает 10 мкм, сила адгезии насыщается. Кроме того, по мере того, как клеевая часть 41 становится более толстой, коэффициент заполнения уменьшается, и магнитные свойства, такие как магнитные потери в сердечнике статора, ухудшаются. Поэтому толщина клеевой части 41 предпочтительно составляет 1 мкм или больше и 10 мкм или меньше, а более предпочтительно 1 мкм или больше и 5 мкм или меньше. Кроме того, в вышеприведенном описании толщина 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. Когда средняя толщина клеевых частей 41 составляет менее 1,0 мкм, достаточная сила адгезии не может быть обеспечена, как описано выше. Поэтому значение нижнего предела средней толщины клеевых частей 41 составляет 1,0 мкм, а более предпочтительно 1,2 мкм. Наоборот, когда средняя толщина клеевых частей 41 превышает 3,0 мкм, возникает такая проблема, как значительное увеличение величины деформации в листе 40 электротехнической стали из-за происходящей термической усадки. Поэтому значение верхнего предела средней толщины клеевых частей 41 составляет 3,0 мкм, а более предпочтительно 2,6 мкм. Средняя толщина клеевых частей 41 является средним значением для всего шихтованного сердечника. Средняя толщина клеевых частей 41 практически не изменяется во всех положениях шихтования в направлении укладки и положениях по окружности вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Поэтому средняя толщина клеевых частей 41 может быть установлена как среднее значение числовых значений, измеренных в 10 или более точках в окружном направлении в положениях верхнего конца шихтованного сердечника.

Клеевая часть 41 предусмотрена частично между листами 40 электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки. То есть, на поверхности (первой поверхности) листа 40 электротехнической стали, обращенной в направлении укладки, формируются область 42 адгезии и область 43 неадгезии. Область 42 адгезии является областью первой поверхности листа 40 электротехнической стали, в которой предусмотрена клеевая часть 41, то есть областью первой поверхности листа 40 электротехнической стали, в которой предусмотрен клей, отверждаемый без разделения. Область 43 неадгезии является областью первой поверхности листа 40 электротехнической стали, в которой не предусмотрена кле-

вая часть 41, то есть областью первой поверхности листа 40 электротехнической стали, в которой не предусмотрен клей, отверждаемый без разделения. Предпочтительно, чтобы между смежными друг другу в направлении укладки листами 40 электротехнической стали в сердечнике 21 статора клеевая часть 41 была частично предусмотрена между частями 22 спинки сердечника, а также частично предусмотрена между зубчатыми частями 23. Как правило, клеевая часть 41 расположена распределенной по множеству положений между смежными друг другу в направлении укладки листами 40 электротехнической стали.

Фиг. 3 показывает один пример рисунка расположения клеевой части 41. В этом примере первая клеевая часть 41a и вторая клеевая часть 41b сформированы в виде множества круглых точек. Более конкретно, в части 22 спинки сердечника множество вторых клеевых частей 41b сформированы в точечной форме со средним диаметром 7 мм с равноугловыми интервалами в окружном направлении. Некоторая часть каждой второй клеевой части 41b выступает в зубчатую часть 23. В зубчатой части 23 сформировано множество первых клеевых частей 41a в точечной форме со средним диаметром 5 мм в радиальном направлении. Проиллюстрированный средний диаметр является примерным. Средний диаметр второй клеевой части 41b точечной формы предпочтительно составляет 5 мм или больше и 10 мм или меньше, а более предпочтительно 6 мм или больше и 10 мм или меньше. Средний диаметр первой клеевой части 41a точечной формы предпочтительно составляет 3 мм или больше и 7 мм или меньше, а более предпочтительно 3 мм или больше и менее 6 мм. Средний диаметр первой клеевой части 41a предпочтительно меньше, чем средний диаметр второй клеевой части 41b. Кроме того, рисунок формирования по фиг. 3 является примером, и число, форма и расположение клеевых частей 41, предусмотренных между листами 40 электротехнической стали, могут быть подходящим образом изменены по мере необходимости. Средний диаметр может быть получен путем измерения диаметров следов клея клеевых частей 41, когда листы 40 электротехнической стали отделяют друг от друга с помощью линейки. Когда форма следа клея на виде сверху не является идеальным кругом, его диаметр устанавливается как диаметр описанной окружности (идеального круга) следа клея на виде сверху. Средние диаметры первой клеевой части и второй клеевой части в зубчатых частях и части спинки сердечника могут не быть одинаковыми.

Обычно при отверждении клея происходит его усадка. Из-за усадки при отверждении к листам 40 электротехнической стали прикладываются сжимающее напряжение и растягивающее напряжение. При приложении к листам 40 электротехнической стали таких напряжений возникает деформация. В частности, в случае термореактивного клея прилагаемое напряжение увеличивается из-за разницы в коэффициенте теплового расширения между листом 40 электротехнической стали и клеевой частью. Деформация листа 40 электротехнической стали увеличивает магнитные потери электродвигателя 10. Влияние на магнитные потери деформации листа 40 электротехнической стали, составляющего сердечник 21 статора, больше, чем влияние на магнитные потери деформации листа стали, составляющего сердечник 31 ротора. В настоящем варианте осуществления, поскольку клеевая часть 41 предусмотрена частично, напряжение, прикладываемое к листу 40 электротехнической стали из-за усадки при отверждении, уменьшается по сравнению со случаем, в котором клеевая часть 41 предусмотрена на всей поверхности.

Клей быстро отверждающегося типа отверждается за короткий период времени при комнатной температуре и имеет меньшую усадку при отверждении, чем термореактивный клей. Кроме того, влияние деформации листа 40 электротехнической стали на магнитные потери больше в зубчатой части 23, чем в части 22 спинки сердечника. Следовательно, когда термореактивный клей наносят на часть 22 спинки сердечника, формируя вторую клеевую часть 41b, а клей быстро отверждающегося типа наносят на зубчатую часть 23, формируя первую клеевую часть 41a, как в настоящем варианте осуществления, увеличение магнитных потерь может быть дополнительно подавлено.

Кроме того, когда клеевая часть предусмотрена частично между листами электротехнической стали путем сочетания временной адгезии с использованием клея быстро отверждающегося типа, который отверждается за короткий период времени, и основной адгезии с использованием термореактивного клея, имеющего высокую механическую прочность после отверждения, чтобы вызвать склеивание листов электротехнической стали, может быть получен сердечник статора, сочетающий в себе высокую производительность, высокую прочность, низкий шум и низкую вибрацию.

Доля площади адгезии Q_0 клеевой части 41 к листу 40 электротехнической стали предпочтительно составляет 10% или больше и 90% или меньше, более предпочтительно 20% или больше и 85% или меньше, а еще более предпочтительно 30% или больше и 70% или меньше. Когда доля площади адгезии Q_0 равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, обеспечивается механическая прочность шихтованного сердечника. Когда доля площади адгезии Q_0 равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_0 является отношением площади, занимаемой клеевой частью 41 (областью 42 адгезии) на первой поверхности листа 40 электротехнической стали, к площади первой поверхности листа 40 электротехнической стали. Как первая клеевая часть, так и вторая клеевая часть, присутствующие на первой поверхности зубчатой части, включаются в вычисление доли площади адгезии Q_0 .

Доля площади адгезии Q_{A0} клеевой части 41 к части 22 спинки сердечника предпочтительно составляет 40% или больше и 90% или меньше, более предпочтительно 50% или больше и 90% или мень-

ше, а еще более предпочтительно 60% или больше и 90% или меньше. Когда доля площади адгезии Q_{A0} равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, поскольку листы 40 электротехнической стали, смежные друг другу в направлении укладки, могут приклеиваться друг к другу с достаточной адгезионной прочностью, жесткость сердечника статора улучшается, а шумовые характеристики становятся превосходными. Когда доля площади адгезии Q_{A0} равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_{A0} является отношением площади, занимаемой клеевой частью 41 (областью 42 адгезии) на первой поверхности части 22 спинки сердечника, к площади первой поверхности части 22 спинки сердечника листа 40 электротехнической стали. Как первая клеевая часть, так и вторая клеевая часть, присутствующие на первой поверхности части спинки сердечника, включаются в вычисление доли площади адгезии Q_{A0} . Например, когда некоторый участок первой клеевой части 41а, образованной клеем быстро отверждающегося типа, нанесенным на зубчатую часть 23, также присутствует в части 22 спинки сердечника, доля площади адгезии Q_{A0} вычисляется с включением также и этого участка.

Доля площади адгезии Q_{A1} первой клеевой части 41а к части 22 спинки сердечника предпочтительно составляет 0% или больше и 50% или меньше, более предпочтительно 0% или больше и 40% или меньше, а еще более предпочтительно 0% или больше и 30% или меньше. Когда доля площади адгезии Q_{A1} равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, может быть получен эффект временной фиксации. Когда доля площади адгезии Q_{A1} равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_{A1} является отношением площади, занимаемой первой клеевой частью 41а на первой поверхности части 22 спинки сердечника, к площади первой поверхности части 22 спинки сердечника листа 40 электротехнической стали.

Доля площади адгезии Q_{A2} второй клеевой части 41b к части 22 спинки сердечника предпочтительно составляет 5% или больше и 90% или меньше, более предпочтительно 15% или больше и 70% или меньше, а еще более предпочтительно 30% или больше и 65% или меньше. Когда доля площади адгезии Q_{A2} равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, может быть получен эффект улучшения жесткости шихтованного сердечника. Когда доля площади адгезии Q_{A2} равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_{A2} является отношением площади, занимаемой второй клеевой частью 41b на первой поверхности части 22 спинки сердечника, к площади первой поверхности части 22 спинки сердечника листа 40 электротехнической стали.

Доля площади адгезии Q_{B0} клеевой части 41 к зубчатой части 23 предпочтительно составляет 10% или больше и 70% или меньше, более предпочтительно 10% или больше и 50% или меньше, а еще более предпочтительно 10% или больше и 30% или меньше. Когда доля площади адгезии Q_{B0} равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, поскольку листы 40 электротехнической стали, смежные друг другу в направлении укладки, могут приклеиваться друг к другу с достаточной адгезионной прочностью, биение зубчатой части может быть подавлено, и таким образом форма сердечника является превосходной. Когда доля площади адгезии Q_{B0} равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_{B0} является отношением площади, занимаемой клеевой частью 41 (областью 42 адгезии) на первой поверхности зубчатой части 23, к площади первой поверхности зубчатой части 23 листа 40 электротехнической стали. Как первая клеевая часть, так и вторая клеевая часть, присутствующие на первой поверхности зубчатой части, включаются в вычисление доли площади адгезии Q_{B0} . Например, когда некоторый участок второй клеевой части 41b, образованной термореактивным клеем, нанесенным на часть 22 спинки сердечника, также присутствует на зубчатой части 23, доля площади адгезии Q_{B0} вычисляется с включением также и этого участка.

Доля площади адгезии Q_{B1} зубчатой части 23 первой клеевой частью 41а предпочтительно составляет 5% или больше и 70% или меньше, более предпочтительно 6% или больше и 50% или меньше, а еще более предпочтительно 7% или больше и 30% или меньше. Когда доля площади адгезии Q_{B1} равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, может быть получен эффект предотвращения смещения зубчатой части. Когда доля площади адгезии Q_{B1} равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_{B1} является отношением площади, занимаемой первой клеевой частью 41а на первой поверхности зубчатой части 23, к площади первой поверхности зубчатой части 23 листа 40 электротехнической стали.

Доля площади адгезии Q_{B2} второй клеевой части 41b к зубчатой части 23 предпочтительно составляет 0% или больше и 65% или меньше, более предпочтительно 0% или больше и 50% или меньше, а еще более предпочтительно 0% или больше и 30% или меньше. Доля площади адгезии Q_{B2} может составлять 0%. Когда доля площади адгезии Q_{B2} равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, эффект подавления магнитных потерь является более превосходным. Кроме того, доля площади адгезии Q_{B2} является отношением площади, занимаемой второй клеевой частью 41b на первой поверхно-

сти зубчатой части 23, к площади первой поверхности зубчатой части 23 листа 40 электротехнической стали.

Между листами 40 электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки, доля (доля P_1) площади адгезии первой клеевой части 41а по отношению к общей площади адгезии клеевой части 41 предпочтительно составляет 5% или больше и 50% или меньше, а аналогичная доля (доля P_2) площади адгезии второй клеевой части 41b по отношению к ней предпочтительно составляет 50% или больше и 95% или меньше. Тем самым могут быть в достаточной степени получены эффект улучшения механической прочности, эффект снижения шума и вибрации, а также эффект подавления магнитных потерь. Кроме того, более предпочтительно, чтобы доля P_1 составляла 5% или больше и меньше 50%, а доля P_2 составляла 50% или больше и 95% или меньше, еще более предпочтительно, чтобы доля P_1 составляла 10% или больше и 40% или меньше, а доля P_2 составляла 60% или больше и 90% или меньше, особенно предпочтительно, чтобы доля P_1 составляла 15% или больше и 40% или меньше, а доля P_2 составляла 60% или больше и 85% или меньше, и наиболее предпочтительно, чтобы доля P_1 составляла 15% или больше и 35% или меньше, а доля P_2 составляла 65% или больше и 85% или меньше. Сумма доли P_1 и доли P_2 составляет 100%. При вычислении долей площади адгезии Q_0 , Q_{A0} , Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{B0} , Q_{B1} и Q_{B2} , а также долей P_1 и P_2 площадь следов клея, полученная путем анализа изображения следов клея клеевой части 41, первой клеевой части 41а или второй клеевой части 41b после того, как листы 40 электротехнической стали отделены друг от друга, используется в качестве площади области адгезии, образованной каждой клеевой частью.

В настоящем варианте осуществления предпочтительно, чтобы первая клеевая часть 41а имела точечную форму со средним диаметром 3 мм или больше и 7 мм или меньше, вторая клеевая часть 41b имела точечную форму со средним диаметром 5 мм или больше и 10 мм или меньше, доля P_1 составляла 5% или больше и меньше 50%, а доля P_2 составляла 50% или больше и 95% или меньше. Кроме того, более предпочтительно, чтобы первая клеевая часть 41а имела точечную форму со средним диаметром 3 мм или больше и 7 мм или меньше, вторая клеевая часть 41b имела точечную форму со средним диаметром 5 мм или больше и 10 мм или меньше, и доля P_1 составляла 5% или больше и меньше 50%, доля P_2 составляла 50% или больше и 95% или меньше, доля площади адгезии Q_{B0} составляла 10% или больше и 50% или меньше, а доля площади адгезии Q_{B1} составляла 6% или больше и 50% или меньше.

Клей быстро отверждающегося типа - это клей, в котором мономер в жидком состоянии мгновенно полимеризуется под действием очень небольшого количества влаги в воздухе или на поверхности склеиваемого материала, проявляя способность к адгезии. В качестве примера клея быстро отверждающегося типа можно привести, например, клей на основе цианоакрилата и анаэробный клей. Из них клей на основе цианоакрилата, известный как клей-момент, предпочтителен из-за его превосходных свойств быстрого отверждения.

В качестве клея на основе цианоакрилата можно без ограничений использовать клей, в котором полимеризуется и отверждается цианоакрилат. В качестве примеров цианоакрилата, содержащегося в клее на основе цианоакрилата, можно привести, например, метилцианоакрилат, этилцианоакрилат, метоксиэтилцианоакрилат, бутилцианоакрилат и октилцианоакрилат. Цианоакрилат, содержащийся в клее на основе цианоакрилата, может быть одного типа или двух или более типов.

Термореактивный клей может быть однокомпонентным или двухкомпонентным. В качестве примера термореактивного клея можно привести, например, клей на основе эпоксидной смолы, клей на основе фенольной смолы и клей на основе ненасыщенной полиэфирной смолы. Из них клей на основе эпоксидной смолы является предпочтительным с точки зрения того, что можно легко получить сердечник статора, имеющий высокую механическую прочность.

Клей на основе эпоксидной смолы содержит эпоксидную смолу и отвердитель. Эпоксидная смола конкретно не ограничена, и могут быть упомянуты, например, эпоксидная смола типа бисфенола А, эпоксидная смола типа бисфенола F, эпоксидная смола типа бисфенола AD, эпоксидная смола аминного типа, алициклическая эпоксидная смола, эпоксидная смола фенол-новолачного типа и эпоксидная смола нафталинового типа. Из них эпоксидная смола фенол-новолачного типа является предпочтительной с точки зрения свойств нанесения. Отвердитель, содержащийся в клее на основе эпоксидной смолы, может быть одного типа или двух или более типов.

Температура стеклования (T_c) эпоксидной смолы предпочтительно составляет 80°C или выше и 150°C или ниже, более предпочтительно 100°C или выше и 150°C или ниже, а еще более предпочтительно 120°C или выше и 150°C или ниже. Когда T_c эпоксидной смолы равна или выше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, может быть легко получен сердечник статора, имеющий превосходную теплостойкость и высокую механическую прочность. Когда T_c эпоксидной смолы равна или ниже значения верхнего предела вышеописанного диапазона, может быть легко получена адгезия к листу электротехнической стали. Кроме того, T_c эпоксидной смолы представляет собой среднюю температуру стеклования, измеренную методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) согласно стандарту JIS K 7121-1987.

Среднечисловая молекулярная масса (M_n) эпоксидной смолы предпочтительно составляет 1200 или больше и 20000 или меньше, более предпочтительно 2000 или больше и 18000 или меньше, а еще более

предпочтительно 2500 или больше и 16000 или меньше. Когда M_n эпоксидной смолы равна или больше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, прочность адгезии может быть легко увеличена. Когда M_n эпоксидной смолы не превышает значения верхнего предела вышеописанного диапазона, резкое увеличение вязкости клея на основе эпоксидной смолы легко подавляется. Кроме того, M_n эпоксидной смолы можно измерить с помощью эксклюзионной хроматографии (SEC), описанной в стандарте JIS K 7252-1:2008, с использованием полистирола в качестве стандартного вещества.

В качестве отвердителя можно использовать обычно применяемый отвердитель на основе термореактивной эпоксидной смолы. Отвердитель конкретно не ограничен, и в качестве примеров могут быть упомянуты, например, отвердитель на основе ангидрида кислоты (фталевого ангидрида, гексагидрофталевого ангидрида, 4-метилгексагидрофталевого ангидрида и т.п.), фенол-новолачная смола и дициандиамид (DICY). Отвердитель, содержащийся в клее на основе эпоксидной смолы, может быть одного типа или двух или более типов.

Фенол-новолачная смола представляет собой фенольную смолу новолачного типа, получаемую подвиганием фенолов (фенола или т.п.) и альдегидов (формальдегида или т.п.) реакции конденсации с использованием кислотного катализатора. В качестве отвердителя предпочтительна фенол-новолачная смола с точки зрения того, что можно легко получить сердечник статора, имеющий высокую механическую прочность.

Содержание отвердителя в клее на основе эпоксидной смолы может быть соответствующим образом установлено в соответствии с типами отвердителей, и, например, когда используется фенол-новолачная смола, оно предпочтительно составляет 5 массовых частей или больше и 35 массовых частей или меньше на 100 массовых частей эпоксидной смолы.

Клей на основе эпоксидной смолы может содержать акриловую смолу в дополнение к эпоксидной смоле и отвердителю. Также может быть использована модифицированная акриловой смолой эпоксидная смола, получаемая прививкой акриловой смолы к эпоксидной смоле.

Акриловая смола конкретно не ограничена. В качестве мономеров, используемых для акриловой смолы, могут быть упомянуты, например, ненасыщенные карбоновые кислоты, такие как акриловая кислота и метакриловая кислота, а также (мет)акрилаты, такие как метил(мет)акрилат, этил(мет)акрилат, н-бутил(мет)акрилат, циклогексил(мет)акрилат, 2-этилгексил(мет)акрилат, 2-гидроксиэтил(мет)акрилат и гидроксипропил(мет)акрилат. Кроме того, (мет)акрилат означает акрилат или метакрилат.

Среднечисловая молекулярная масса (M_n) акриловой смолы предпочтительно составляет 5000 или больше и 100000 или меньше, более предпочтительно 6000 или больше и 80000 или меньше, а еще более предпочтительно 7000 или больше и 60000 или меньше. Когда M_n акриловой смолы равна или больше значения нижнего предела вышеописанного диапазона, прочность адгезии может быть легко увеличена. Когда M_n акриловой смолы не превышает значения верхнего предела вышеописанного диапазона, резкое увеличение вязкости клея на основе эпоксидной смолы легко подавляется. Кроме того, M_n акриловой смолы может быть измерена тем же самым способом, что и M_n эпоксидной смолы.

Когда клей на основе эпоксидной смолы содержит акриловую смолу, содержание акриловой смолы конкретно не ограничено и может составлять, например, 20 мас.% или больше и 80 мас.% или меньше по отношению к общему количеству эпоксидной смолы и акриловой смолы.

В настоящем варианте осуществления множество листов электротехнической стали, образующих сердечник 31 ротора, крепятся друг к другу посредством крепежной детали (шканта). Однако множество листов электротехнической стали, образующих сердечник 31 ротора, может также иметь шихтованную конструкцию, скрепленную клеем, как и в сердечнике 21 статора. Кроме того, шихтованные сердечники, такие как сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора, также могут быть сформированы путем так называемой укладки намоткой.

Способ производства сердечника статора.

Сердечник 21 статора может быть произведен, например, путем повторения операции, на которой клей быстро отверждающегося типа и термореактивный клей наносят на часть поверхности листа 40 электротехнической стали, лист 40 электротехнической стали укладывают на другой лист электротехнической стали, а затем листы электротехнической стали опрессовывают с образованием клеевой части 41 при комнатной температуре (например, 20°C или выше и 30°C или ниже).

Отверждение нанесенного клея быстро отверждающегося типа происходит при комнатной температуре, и формируется первая клеевая часть 41a. Кроме того, прогрессирует отверждение термореактивного клея из-за нагревания во время опрессовывания, и формируется вторая клеевая часть 41b. Сначала можно нанести клей быстро отверждающегося типа или термореактивный клей, или их можно наносить одновременно. Кроме того, клей быстро отверждающегося типа и термореактивный клей можно наносить по отдельности или можно наносить в смешанном состоянии.

Далее будет описан способ производства сердечника 21 статора с использованием производственного устройства 100, проиллюстрированного на фиг. 4. Сначала будет описано производственное устройство 100. В производственном устройстве 100, в то время как лист Р электротехнической стали направляется в направлении стрелки F с рулона С (листовой стали), лист Р электротехнической стали пробивают множество раз штампом, расположенным на каждой стадии, постепенно придавая форму листа

40 электротехнической стали, клей быстро отверждающегося типа и терморезактивный клей наносят в заданных положениях на нижнюю поверхность второго и последующих листов 40 электротехнической стали, и пробитые листы 40 электротехнической стали последовательно шихтуют и опрессовывают при нагревании.

Как проиллюстрировано на фиг. 4, производственное устройство 100 включает в себя станцию 110 пробивки первой стадии в положении, самом близком к рулону С, станцию 120 пробивки второй стадии, расположенную смежной со станцией 110 пробивки со стороны выхода в направлении транспортировки листа электротехнической стали Р, первую станцию 130 нанесения клея, расположенную смежной со станцией 120 пробивки со стороны выхода далее, и вторую станцию 140 нанесения клея, расположенную смежной с первой станцией 130 нанесения клея со стороны выхода далее.

Станция 110 пробивки включает в себя матрицу 111, расположенную под листом Р электротехнической стали, и пуансон 112, расположенный над листом Р электротехнической стали. Станция 120 пробивки включает в себя матрицу 121, расположенную под листом Р электротехнической стали, и пуансон 122, расположенный над листом Р электротехнической стали. Первая станция 130 нанесения клея и вторая станция 140 нанесения клея включают в себя соответственно аппликатор 131 и аппликатор 141, каждый из которых имеет множество форсунок, расположенных в соответствии с описанным выше рисунком расположения клеевой части 41.

Производственное устройство 100 дополнительно включает в себя станцию 150 укладки в положении ниже по ходу от второй станции 140 нанесения клея. Станция 150 укладки включает в себя нагревательное устройство 151, стационарную пресс-форму 152 для придания внешней формы, теплоизоляционный элемент 153, вырубной штамп 154 для придания внутренней формы и пружину 155. Нагревательное устройство 151, стационарная пресс-форма 152 для придания внешней формы и теплоизоляционный элемент 153 расположены под листом Р электротехнической стали. Вырубной штамп 154 для придания внутренней формы и пружина 155 расположены над листом Р электротехнической стали.

Этап пробивки.

В производственном устройстве 100, имеющем вышеописанное строение, сначала лист Р электротехнической стали последовательно отправляют с рулона С в направлении стрелки F на фиг. 4. Затем первой выполняют обработку пробивкой листа Р электротехнической стали на станции 110 пробивки. Затем выполняют обработку пробивкой листа Р электротехнической стали на станции 120 пробивки. Вследствие этих обработок пробивкой листа Р электротехнической стали получается форма листа 40 электротехнической стали с составляющей спинку сердечника частью 22 и множеством зубчатых частей 23, показанная на фиг. 3. Однако, поскольку в этот момент он вырублен неполностью, обработка переходит к следующему этапу в направлении стрелки F.

Этап нанесения.

На первой станции 130 нанесения клея следующего этапа клей быстро отверждающегося типа подают из форсунок аппликатора 131, чтобы нанести его в точечной форме во множестве положений на нижнюю поверхность зубчатой части 23 листа 40 электротехнической стали. Затем, на второй станции 140 нанесения клея, терморезактивный клей подают из форсунок аппликатора 141, чтобы нанести его в точечной форме во множестве положений на нижнюю поверхность составляющей спинку сердечника части 22 листа 40 электротехнической стали.

Этап шихтования.

Затем лист Р электротехнической стали направляют на станцию 150 укладки, вырубает вырубным штампом 154 для придания внутренней формы и шихтуют с высокой точностью. Например, когда во множестве положений на внешнем окружном торце составляющей спинку сердечника части формируются паз и к пазам со стороны боковой поверхности прижимается линейка, смещение листов 40 электротехнической стали может быть предотвращено, и они могут шихтоваться с более высокой точностью. Во время шихтования лист 40 электротехнической стали нагревается, например, до 150°C или выше и 160°C или ниже нагревательным устройством 151, при этом воспринимая постоянное усилие прижима пружины 155. Отверждение терморезактивного клея ускоряется нагреванием.

Описанные выше этап пробивки, этап нанесения и этап шихтования последовательно повторяют, и тем самым заданное число листов 40 электротехнической стали может быть шихтовано посредством частично обеспечиваемой клеевой части 41. В результате выполнения вышеописанных этапов получается сердечник 21 статора.

Способ производства сердечника статора не ограничен вышеописанным способом. Например, терморезактивный клей может наноситься на первой станции 130 нанесения клея, а клей быстро отверждающегося типа может наноситься на второй станции 140 нанесения клея. Кроме того, на любой или на обеих из первой станции 130 нанесения клея и второй станции 140 нанесения клея терморезактивный клей и клей быстро отверждающегося типа могут наноситься по отдельности, а также терморезактивный клей и клей быстро отверждающегося типа могут наноситься в смешанном состоянии.

Кроме того, технический объем настоящего изобретения не ограничен вышеописанными вариантами осуществления, и могут быть проделаны различные модификации без отступления от сути настоящего изобретения. Клеевая часть для обеспечения склеивания листов электротехнической стали друг с дру-

гом предпочтительно включает в себя два типа из первой клеевой части, образованной клеем быстро отверждающегося типа, и второй клеевой части, образованной термореактивным клеем, но может также включать в себя третью клеевую часть, образованную клеем, в котором смешаны клей быстро отверждающегося типа и термореактивный клей. Когда клеевая часть для обеспечения склеивания листов электротехнической стали друг с другом включает в себя третью клеевую часть, клеевая часть может включать в себя только третью клеевую часть, или может включать в себя комбинацию любой или обеих из первой клеевой части и второй клеевой части с третьей клеевой частью.

Форма сердечника статора не ограничена формой, проиллюстрированной в вышеописанном варианте осуществления. В частности, размеры по наружному диаметру и внутреннему диаметру, толщина шихтованного пакета и число пазов сердечника статора, соотношение размеров зубчатой части в окружном направлении и радиальном направлении, соотношение размеров в радиальном направлении между зубчатой частью и частью спинки сердечника или т.п. могут быть спроектированы произвольно в соответствии с желаемыми характеристиками электродвигателя.

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

В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя был описан электродвигатель с постоянными магнитами, но конструкция электродвигателя этим не ограничена, как будет проиллюстрировано ниже, и, кроме того, также могут использоваться различные известные конструкции, не проиллюстрированные ниже. В вышеописанном варианте осуществления электродвигатель с постоянными магнитами был описан в качестве примера электродвигателя, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигателем также может быть реактивный двигатель или электродвигатель с электромагнитным возбуждением (двухобмоточный электродвигатель). В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя переменного тока был описан синхронный электродвигатель, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель также может быть асинхронным двигателем. В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя был описан электродвигатель переменного тока, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель может быть электродвигателем постоянного тока. В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя был описан двигатель, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель может быть генератором.

Сердечник 21 статора может также использоваться в трансформаторе вместо электродвигателя 10. В этом случае в качестве листа электротехнической стали предпочтительно используется лист анизотропной электротехнической стали вместо листа изотропной электротехнической стали.

В дополнение, компоненты в вышеописанных вариантах осуществления могут быть соответствующим образом заменены хорошо известными компонентами в пределах диапазона, не выходящего за рамки сути настоящего изобретения, и описанные выше модифицированные примеры могут быть соответствующим образом скомбинированы.

Далее настоящее изобретение будет более конкретно описано со ссылкой на примеры, но настоящее изобретение не ограничено последующим описанием.

Клей.

Клей быстро отверждающегося типа (A-1): клей на основе цианоакрилата (название продукта "Aron Alpha", производства компании Toagosei Co., Ltd.). Термореактивный клей (B-1): клей на основе эпоксидной смолы (название продукта "ThreeBond", производства компании ThreeBond Co., Ltd., T_c эпоксидной смолы: 130°C).

Пример 1.

Приготовили листовую сталь с составом листа изотропной электротехнической стали, содержащим 3,0 мас.% Si, 0,5 мас.% Al и 0,1 мас.% Mn. Толщина стальной основы составляла 0,3 мм. На листовую сталь наносили агент для создания изоляционного покрытия, содержащий фосфат металла и эмульсию акриловой смолы, и выполняли прокаливание при 300°C, так что листовая сталь покрылась изоляционным покрытием в заданном количестве.

Сердечник статора изготавливали пробивкой листовой стали (листа электротехнической стали) в одиночную пластину сердечника, имеющую форму кольца с наружным диаметром 200 мм и внутренним диаметром 134 мм и снабженную 18 прямоугольными зубчатыми частями 23, каждая из которых имеет длину 23 мм и ширину 15 мм, на стороне внутреннего диаметра, а затем последовательным шихтованием такой пластины с использованием производственного устройства 100, имеющего показанное на фиг. 4 строение, с помощью следующих процедур.

Листовую сталь последовательно подавали в направлении стрелки F на фиг. 4 с рулона C. Затем первой выполняли обработку пробивкой листовой стали на станции 110 пробивки, а затем выполняли обработку пробивкой листовой стали на станции 120 пробивки. Вследствие этих обработок пробивкой листовой стали придавали форму листа 40 электротехнической стали с составляющей спинку сердечника частью 22 и множеством зубчатых частей 23, показанную на фиг. 3 (этап пробивки).

Затем клей быстро отверждающегося типа (А-1) наносили в точечной форме в заданных положениях на нижнюю поверхность (первую поверхность) зубчатых частей 23 листовой стали с использованием аппликатора 131 на первой станции 130 нанесения клея. Затем термореактивный клей (В-1) наносили в точечной форме в заданных положениях на нижнюю поверхность (первую поверхность) составляющей спинку сердечника части 22 листовой стали с использованием аппликатора 141 на второй станции 140 нанесения клея (этап нанесения).

Затем отправленную на станцию 150 укладки листовую сталь вырубали в одиночную пластину сердечника вырубным штампом 154 для придания внутренней формы, а затем шихтовали с опрессовыванием (этап шихтования). При этом клей нагревали до 80°С нагревательным устройством 151 для того, чтобы ускорить отверждение клея.

Этап пробивки, этап нанесения и этап шихтования, описанные выше, последовательно повторяли для шихтовки 130 одиночных пластин сердечника. Средний диаметр первой клеевой части, образованной клеем быстро отверждающегося типа (А-1) между листами 40 электротехнической стали, составлял 5 мм. Средний диаметр второй клеевой части, образованной термореактивным клеем (В-1), составлял 8 мм. Доли площади адгезии Q_0 , Q_{A0} , Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{B0} , Q_{B1} и Q_{B2} , а также доли P_1 и P_2 показаны в табл. 1.

Примеры 2-13.

Сердечник статора изготовили тем же самым образом, что и в примере 1, за исключением того, что средние диаметры, доли площади адгезии Q_0 , Q_{A0} , Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{B0} , Q_{B1} и Q_{B2} , а также доли P_1 и P_2 первой клеевой части и второй клеевой части были такими, как показанные в табл. 1 и 2.

Сравнительный пример 1.

Клей быстро отверждающегося типа (А-1) наносили на первую поверхность зубчатой части тем же самым образом, что и в примере 1, для временной адгезии, после чего металлические стальные листы полностью приклеивали друг к другу путем вакуумной пропитки термореактивным клеем (В-1), в результате чего был изготовлен сердечник статора, имеющий доли площади адгезии Q_0 , Q_{A0} , Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{B0} , Q_{B1} и Q_{B2} , а также доли P_1 и P_2 , показанные в табл. 2.

Сравнительный пример 2.

Сердечник статора изготовили тем же самым образом, что и в примере 1, за исключением того, что используемый клей был только клеем быстро отверждающегося типа (А-1), и доли площади адгезии Q_0 , Q_{A0} , Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{B0} , Q_{B1} и Q_{B2} , а также доли P_1 и P_2 были такими, как показанные в табл. 2.

Сравнительный пример 3.

Сердечник статора изготовили тем же самым образом, что и в примере 1, за исключением того, что используемый клей был только термореактивным клеем (В-1), и доли площади адгезии Q_0 , Q_{A0} , Q_{A1} , Q_{A2} , Q_{B0} , Q_{B1} и Q_{B2} , а также доли P_1 и P_2 были такими, как показанные в табл. 2.

Оценка.

Выполняли следующие виды оценки сердечника статора каждого примера. Результаты показаны в табл. 1 и 2.

Прочность сердечника.

После падения сердечника статора с высоты 1 м его прочность была оценена путем измерения числа наборов листов электротехнической стали, в которых образовался зазор между листами электротехнической стали, из всех наборов листов электротехнической стали, смежных друг другу в направлении укладки. Когда расстояние между листами электротехнической стали было больше, чем перед падением, считалось, что между листами электротехнической стали образовался зазор. Меньшее число наборов листов электротехнической стали, в которых образовался зазор между листами электротехнической стали, означает более высокую прочность сердечника.

○: число наборов листов электротехнической стали, в которых образовался зазор между листами электротехнической стали, было меньше 1. То есть это случай, в котором в сердечнике статора не возникло никаких проблем.

△: число наборов листов электротехнической стали, в которых образовался зазор между листами электротехнической стали, составило 1 или больше и меньше 2. То есть это случай, в котором образовался видимый зазор в сердечнике статора.

×: число наборов листов электротехнической стали, в которых образовался зазор между листами электротехнической стали, составило 2 или больше. То есть это случай, в котором множество видимых зазоров образовались или растрескались в сердечнике статора.

Ударное испытание (оценка шума).

Внешний окружный торец части спинки сердечника статора подвергали вибрации в радиальном направлении с помощью ударного молотка, и выполняли модальный анализ шума и вибрации для дальнего конца зубчатой части и центральной области части спинки сердечника в направлении 180° по оси по отношению к источнику вибрации в качестве точек измерения. Кроме того, когда центральная область части спинки сердечника в радиальном направлении подвергали вибрации в осевом направлении ударным молотком, выполняли модальный анализ шума и вибрации для дальнего конца зубчатой части и центральной области части спинки сердечника в направлении 180° по оси по отношению к источнику виб-

рации в качестве точек измерения. Оценку выполняли в соответствии со следующими критериями. Меньшее значение означает большее подавление шума.

- 1: обнаруживаются только один или два пика вибрации.
- 2: обнаруживаются несколько пиков вибрации.
- 3: обнаруживаются 10 или более пиков вибрации в зависимости от направления вибрации.
- 4: имеется главный пик, но обнаруживаются 10 или более пиков вибрации.
- 5: главный пик отсутствует, но обнаруживаются 10 или более пиков вибрации.

Магнитные потери.

Магнитные потери статора измеряли с использованием ротационного имитатора магнитных потерь, имеющего роторный детектор диаметром 133,5 мм. Этот ротационный имитатор магнитных потерь описан в документах технических совещаний в Институте инженеров-электриков Японии, RM-92-79, 1992. При оценке магнитных потерь сердечника статора в качестве сердечника, служащего критерием оценки, изготовили фиксированный посредством крепления сердечник, имеющий 10 шихтованных листов, в которых восемь клеевых частей были сформированы в части спинки сердечника, а в центральной области всех зубчатых частей было сформировано крепление с диаметром 1,5 мм. Сердечник статора и фиксированный посредством крепления сердечник в каждом примере измеряли с использованием ротационного имитатора магнитных потерь, и магнитные потери были оценивали в соответствии со следующими критериями.

○: магнетизм был лучше на 20% или более по сравнению с фиксированным посредством крепления сердечником.

△: магнетизм был лучше в диапазоне 10% или более и менее 20% по сравнению с фиксированным посредством крепления сердечником.

×: улучшения магнетизма по сравнению с фиксированным посредством крепления сердечником не наблюдалось, или улучшение магнетизма составляло менее 10% по сравнению с фиксированным посредством крепления сердечником.

Производительность.

Когда сердечник статора изготавливали со скоростью 150 листов в мин (число листов электротехнической стали, шихтуемых за 1 мин, составляло 150) с использованием производственного устройства, проиллюстрированного на фиг. 4, проверяли состояние фиксации сердечника статора, вынутого из пресс-формы, и производительность статора оценивали в соответствии со следующими критериями.

○: шихтованный сердечник мог быть изготовлен без каких-либо проблем.

△: листы электротехнической стали были отделены друг от друга, или пакет скручивался во время обработки.

×: фиксация между листами электротехнической стали была недостаточной.

Таблица 1

		Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5	Пример 6	Пример 7	Пример 8
Нанесенный клей	Первая клеевая часть	Быстроотверждающийся							
	Вторая клеевая часть	Терморесактивный							
Доля площади адгезии Q_0 [%]		71	56	54	50	39	45	51	46
Доля площади адгезии Q_{A0} [%]		87	87	45	51	41	64	42	52
Доля площади адгезии Q_{A1} [%]		12	12	7	4	6	7	4	29
Доля площади адгезии Q_{A2} [%]		75	75	38	47	34	57	38	23
Доля площади адгезии Q_{B0} [%]		55	26	63	50	38	26	59	40
Доля площади адгезии Q_{B1} [%]		11	11	7	4	4	7	4	28
Доля площади адгезии Q_{B2} [%]		44	15	55	46	33	18	55	11
Доля P_1 [%]		16	21	14	8	13	16	8	63
Доля P_2 [%]		84	79	86	92	87	84	92	37
Средний диаметр первой клеевой части [мм]		5	5	4	3	3	4	3	5
Средний диаметр второй клеевой части [мм]		8	8	9	10	7	9	9	7
Прочность сердечника		○	○	○	○	△	○	○	○
Ударное испытание		2	2	1	1	3	1	2	1
Магнитные потери		○	○	○	○	○	○	△	△
Производительность		○	○	○	△	△	○	△	○

Таблица 2

		Пример 9	Пример 10	Пример 11	Пример 12	Пример 13	Сравнительный пример 1	Сравнительный пример 2	Сравнительный пример 3
Нансенский клей	Первая клеевая часть	Быстроотверждающийся	Быстроотверждающийся	Быстроотверждающийся	Быстроотверждающийся	Быстроотверждающийся	Быстроотверждающийся	Быстроотверждающийся	-
	Вторая клеевая часть	Термореактивный	Термореактивный	Термореактивный	Термореактивный	Термореактивный	Термореактивный	-	Термореактивный
Доля площади адгезии Q_0 [%]		46	33	36	59	65	100	32	21
Доля площади адгезии Q_{A0} [%]		41	42	47	79	71	100	52	23
Доля площади адгезии Q_{A1} [%]		11	19	5	11	11	0	52	0
Доля площади адгезии Q_{A2} [%]		30	23	42	67	60	100	0	23
Доля площади адгезии Q_{B0} [%]		51	24	26	40	58	100	11	19
Доля площади адгезии Q_{B1} [%]		7	7	2	7	15	100	11	0
Доля площади адгезии Q_{B2} [%]		44	17	25	33	44	0	0	19
Доля P_1 [%]		20	39	9	16	20	0	100	0
Доля P_2 [%]		80	61	91	84	80	100	0	100
Средний диаметр первой клеевой части [мм]		4	4	2	4	4		5	
Средний диаметр второй клеевой части [мм]		8	5	6	12	8			7
Прочность сердечника		○	Δ	Δ	○	○	○	×	○
Ударное испытание		1	2	3	1	1	1	5	3
Магнитные потери		○	Δ	Δ	Δ	○	×	○	○
Производительность		Δ	○	Δ	Δ	Δ	×	○	×

Промышленная применимость

В соответствии с настоящим изобретением производительность и механическая прочность шихтованного сердечника для статора улучшаются, и таким образом вибрация и шум электродвигателя могут быть уменьшены, а магнитные потери могут быть подавлены. Следовательно, промышленная применимость является высокой.

Краткое описание ссылочных обозначений

- 10 - электродвигатель;
- 20 - статор;
- 21 - клеено-шихтованный сердечник для статора;
- 40 - лист электротехнической стали;
- 41 - клеевая часть;
- 41a - первая клеевая часть;
- 41b - Вторая клеевая часть.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Клеено-шихтованный сердечник для статора, содержащий:
множество листов электротехнической стали, которые уложены друг на друга и обе поверхности каждого из которых покрыты изоляционным покрытием; и
клеевую часть, которая расположена между листами электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки, и склеивает листы электротехнической стали друг с другом, причем все наборы листов электротехнической стали, смежных друг другу в направлении укладки, склеены множеством клеевых частей,
клей, образующий клеевую часть, включает в себя клей быстро отверждающегося типа и термореактивный клей,
клеевая часть частично предусмотрена между листами электротехнической стали, смежными друг другу в направлении укладки,

доля площади адгезии Q_0 клеевой части к листу электротехнической стали составляет 10% или больше и 90% или меньше,

клеевая часть включает в себя первую клеевую часть, образованную клеем быстро отверждающегося типа, и вторую клеевую часть, образованную термореактивным клеем, и

первая клеевая часть выполнена в форме точек, имеющих средний диаметр 3 мм или больше и 7 мм или меньше, вторая клеевая часть выполнена в форме точек, имеющих средний диаметр 5 мм или больше и 10 мм или меньше, и доля площади адгезии первой клеевой части составляет 5% или больше и менее 50%, а доля площади адгезии второй клеевой части составляет 50% или больше и 95% или меньше относительно общей площади адгезии клеевой части между листами электротехнической стали.

2. Клеено-шихтованный сердечник для статора по п.1, в котором клеевая часть включает в себя:

первую клеевую часть, предусмотренную между зубчатыми частями листов электротехнической стали; и

вторую клеевую часть, предусмотренную между частями спинки сердечника листов электротехнической стали.

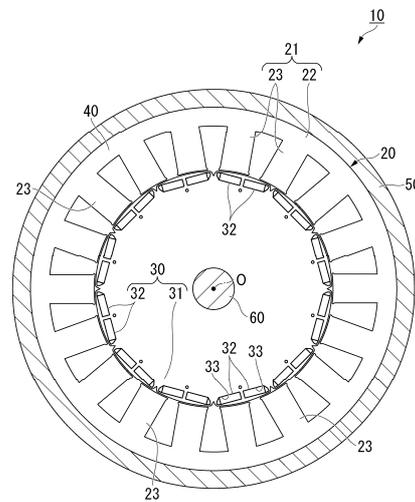
3. Клеено-шихтованный сердечник для статора по п.1 или 2, в котором клей быстро отверждающегося типа представляет собой клей на основе цианоакрилата.

4. Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп.1-3, в котором термореактивный клей представляет собой клей на основе эпоксидной смолы, содержащий эпоксидную смолу, имеющую температуру стеклования 80°C или выше и 150°C или ниже.

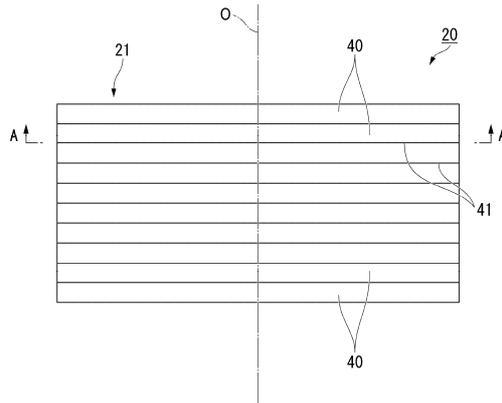
5. Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп.1-4, в котором между листами электротехнической стали доля площади адгезии Q_{B0} зубчатой части клеевой частью составляет 10% или больше и 70% или меньше, а доля площади адгезии Q_{A0} части спинки сердечника клеевой частью составляет 40% или больше и 90% или меньше.

6. Способ производства клеено-шихтованного сердечника для статора, представляющий собой способ производства клеено-шихтованного сердечника для статора по п.1, включающий повторение операции, на которой клей быстро отверждающегося типа и термореактивный клей наносят на часть поверхности листа электротехнической стали, лист электротехнической стали укладывают на другой лист электротехнической стали, а затем листы электротехнической стали опрессовывают, образуя клеевую часть.

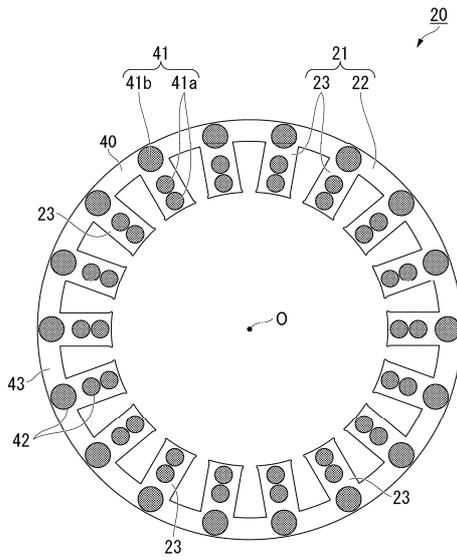
7. Электродвигатель, содержащий клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп.1-5.



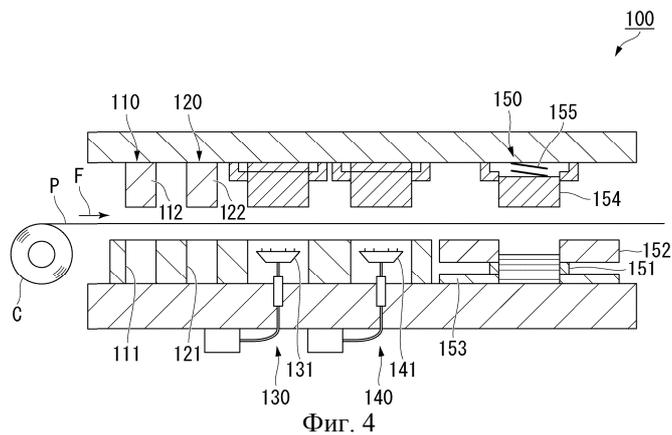
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4