(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202192069 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.11.08

(22) Дата подачи заявки
2019.12.17

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

(54) КЛЕЕНО-ШИХТОВАННЫЙ СЕРДЕЧНИК ДЛЯ СТАТОРА И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

(31) **2018-235865**
(32) **2018.12.17**
(33) **JP**
(86) **PCT/JP2019/049257**
(87) **WO 2020/129921 2020.06.25**

(71) Заявитель:
НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН (JP)

(72) Изобретатель:
Такеда Кадзутоси, Хираяма Рюи (JP)

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

(57) В клеено-шихтованном сердечнике для статора химический состав каждого из электротехнических стальных листов включает 2,5-3,9 мас.% Si, средний модуль упругости на растяжение каждой из клеевых частей составляет 2500-5000 МПа, и когда средняя толщина каждого из электротехнических стальных листов составляет t1 в мм, средняя толщина каждой из клеевых частей составляет t2 в мкм, а среднее значение пределов текучести каждого из электротехнических стальных листов составляет YP в МПа, удовлетворяется либо условие A соблюдения следующих выражений 1, 2 и 3, либо условие B соблюдения следующих выражений 3, 4 и 5, либо их сочетание.

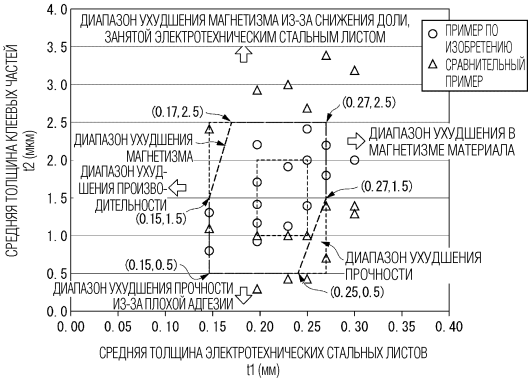
$50\times t1-12 \le t2 \le 50\times t1-6$ (выражение 1)

$0{,}15 \le t1 \le 0{,}27$ (выражение 2)

$0{,}5 \le t2 \le 2{,}5$ (выражение 3)

$0{,}025\times YP-12 \le t2 \le 0{,}025\times YP-8$ (выражение 4)

$380 \le YP \le 540$ (выражение 5)



202192069 A1

202192069 A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-570547EA/22

КЛЕЕНО-ШИХТОВАННЫЙ СЕРДЕЧНИК ДЛЯ СТАТОРА И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее изобретение относится к клеено-шихтованному сердечнику для статора и электродвигателю. Приоритет испрашивается по заявке на патент Японии № 2018-235865, поданной в Японии 17 декабря 2018 г., содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002] Традиционно известен шихтованный сердечник, описанный в нижеприведенном патентном документе 1. В указанном ниже патентном документе 1 проблема заключается в улучшении характеристик теплопроводности в направлении укладки при обеспечении адгезионной прочности и электроизоляционных свойств между электротехническими стальными листами. Для того, чтобы решить эту проблему, используется шихтованный сердечник, сформированный путем шихтования электротехнических стальных листов, каждый из которых имеет изоляционное покрытие на своей поверхности и имеет конфигурацию, в которой между электротехническими стальными листами присутствует по меньшей мере слой органического вещества, образованный из клейкого органического вещества, и средняя толщина слоев органического вещества составляет 4 мкм или меньше. Клейкое органическое вещество имеет вязкость 1,0 Па·с или меньше при температуре, при которой требуется текучесть перед реакцией отверждения. Кроме того, слой органического вещества вводится между электротехническими стальными листами с использованием способа вакуумной пропитки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПАТЕНТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

[0003] Патентный документ 1: Японская нерассмотренная патентная заявка, первая публикация № 2004-88970.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ПРОБЛЕМЫ, РЕШАЕМЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЕМ

[0004] Электротехнический стальной лист и клейкое органическое вещество (именуемое в дальнейшем клеевой частью) имеют отличающиеся друг от друга коэффициенты теплового расширения. Поэтому, когда электротехнические стальные листы просто склеиваются друг с другом и нагреваются для отверждения клеевой части, как в патентном документе 1, клеевая часть подвергается термической усадке и к электротехническим стальным листам прикладывается сжимающее или растягивающее напряжение при. Когда эти напряжения прикладываются к электротехническим стальным листам, существует вероятность того, что магнитные свойства шихтованного сердечника ухудшатся. Вероятность ухудшения магнитных свойств возрастает по мере утончения электротехнических стальных листов и утолщения клеевой части. С другой стороны, даже

в случае отверждающегося при комнатной температуре клея, при отверждении происходит усадка. Поэтому, при любом клее типа термореактивного или отверждающегося при комнатной температуре, существует вероятность того, что усадка при отверждении вызовет ухудшение магнитных свойств.

[0005] Настоящее изобретение было создано с учетом вышеупомянутых обстоятельств, и задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить клеено-шихтованный сердечник для статора, в котором может быть подавлено ухудшение магнитных свойств из-за усадки клея при отверждении, а также электродвигатель, включающий такой клеено-шихтованный сердечник для статора.

СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

[0006] Для того, чтобы решить вышеописанные проблемы, настоящее изобретение использует следующие средства.

(1) Клеено-шихтованный сердечник для статора в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения включает в себя множество шихтованных друг на друга электротехнических стальных листов, каждый из которых покрыт с обеих сторон изоляционным покрытием, и клеевую часть, расположенную во множестве точек между каждым из электротехнических стальных листов, смежных друг другу в направлении укладки, и выполненную вызывающей приклеивание электротехнических стальных листов друг к другу, причем химический состав каждого из электротехнических стальных листов включает от 2,5% до 3,9% по массе Si, средний модуль упругости на растяжение каждой из клеевых частей составляет от 2500 МПа до 5000 МПа, и, когда средняя толщина каждого из электротехнических стальных листов составляет t1 в мм, средняя толщина каждой из клеевых частей составляет t2 в мкм, а среднее значение пределов текучести каждого из электротехнических стальных листов составляет YP в МПа, удовлетворяется либо условие A соблюдения следующих выражений 1, 2 и 3, либо условие B соблюдения следующих выражений 3, 4 и 5, либо их сочетание:

$50\times t1-12 \leq t2 \leq 50\times t1-6$ (выражение 1)

$0{,}15 \leq t1 \leq 0{,}27$ (выражение 2)

$0{,}5 \leq t2 \leq 2{,}5$ (выражение 3)

$0{,}025\times YP-12 \leq t2 \leq 0{,}025\times YP-8$ (выражение 4)

$380 \leq YP \leq 540$ (выражение 5).

Здесь в качестве материала, составляющего изоляционное покрытие, может использоваться, например, (1) неорганическое соединение, (2) органическая смола, (3) смесь неорганического соединения и органической смолы и т.п. Из них (1) неорганическое соединение или (3) смесь неорганического соединения и органической смолы в качестве изоляционного покрытия могут в значительной степени подавлять ухудшение магнитных свойств из-за усадки клея при отверждении.

[0007] (2) Следующая конфигурация может использоваться в вышеописанном пункте (1). Удовлетворяется только условие A, или удовлетворяются оба условия A и B, причем средняя толщина листа t1 составляет в диапазоне от 0,20 мм до 0,25 мм, а средняя

толщина t2 составляет в диапазоне от 1,0 мкм до 2,0 мкм.

(3) Следующая конфигурация может использоваться в вышеописанном пункте (1). Удовлетворяется только условие B, или удовлетворяются оба условия A и B, причем средняя толщина t2 составляет в диапазоне от 1,0 мкм до 2,0 мкм, а среднее значение предела текучести YP составляет в диапазоне от 450 МПа до 500 МПа.

(4) В любом из вышеописанных пунктов (1) - (3) каждая из клеевых частей может содержать масляный поверхностный клей на акриловой основе или масляный поверхностный клей на эпоксидной основе или их комбинацию в качестве масляного компонента.

(5) В любом из вышеописанных пунктов (1) - (3) каждая из клеевых частей может представлять собой отверждающийся при комнатной температуре клей на акриловой основе, содержащий акриловый клей второго поколения (SGA), включающий эластомерсодержащий клей на акриловой основе.

(6) Электродвигатель по одному аспекту настоящего изобретения включает в себя клеено-шихтованный сердечник для статора в соответствии с любым из вышеописанных пунктов (1) - (5).

ЭФФЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0008] В соответствии с вышеописанными аспектами настоящего изобретения можно предложить клеено-шихтованный сердечник для статора, в котором может быть подавлено ухудшение магнитных свойств из-за усадки клея при отверждении, а также электродвигатель, включающий в себя такой клеено-шихтованный сердечник для статора.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0009] 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 клеено-шихтованного сердечника для статора.

Фиг. 3 – вид в разрезе вдоль линии A-A по Фиг. 2, иллюстрирующий пример рисунка формирования клеевой части в клеено-шихтованном сердечнике для статора.

Фиг. 4 – вид сбоку производственного устройства, используемого для производства одного примера клеено-шихтованного сердечника для статора.

Фиг. 5 – график, показывающий соотношение между средней толщиной t1 электротехнических стальных листов и средней толщиной t2 клеевых частей в том же самом примере.

Фиг. 6 – график, показывающий соотношение между средним значением YP пределов текучести электротехнических стальных листов и средней толщиной t2 клеевых частей в том же самом примере.

ВАРИАНТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0010] Далее со ссылками на приложенные чертежи будет описан клеено-шихтованный сердечник для статора в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, а также электродвигатель, включающий в себя этот клеено-

шихтованный сердечник для статора. В настоящем варианте осуществления в качестве одного примера электродвигателя будет описан двигатель, конкретнее электродвигатель переменного тока, более конкретно синхронный двигатель, а еще более конкретно электродвигатель с постоянным магнитным полем. Двигатель этого типа подходящим образом используется, например, в электрических автомобилях (электромобилях).

[0011] 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 закреплен в корпусе 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 также может 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-пазный трехфазный электродвигатель переменного тока. Однако число полюсов, число пазов, число фаз или т.п. может быть изменено соответствующим образом. Электродвигатель 10 может вращаться со скоростью вращения 1000 об/мин при подаче на каждую фазу, например, тока возбуждения, имеющего эффективное значение 10 А и частоту 100 Гц.

[0012] 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 центральной оси О сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) упоминается как осевое направление, радиальное направление (направление, перпендикулярное центральной оси О) сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) упоминается как радиальное направление, и окружное направление (направление вращения вокруг центральной оси О) сердечника 21 статора (или части 22 спинки сердечника) упоминается как окружное направление.

[0013] Часть 22 спинки сердечника выполнена с кольцевой формой на виде сверху статора 20 в осевом направлении. Множество зубчатых частей 23 выступают внутрь в радиальном направлении (к центральной оси О части 22 спинки сердечника в радиальном направлении) из внутренней окружной периферии 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 градусов в терминах центрального угла с центральной осью О в качестве центра. Множество зубчатых частей 23 выполнены имеющими одинаковую форму и одинаковый размер. Поэтому множество зубчатых частей 23 имеют одинаковый друг с другом размер по толщине. Обмотка намотана вокруг зубчатых частей 23. Обмотка может быть концентрированной обмоткой или распределенной обмоткой.

[0014] 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 форме) расположенным 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 12 наборов постоянных магнитов 32 (всего 24 магнита) предусмотрены через каждые 30 градусов в терминах центрального угла с центральной осью О в качестве центра.

[0015] В настоящем варианте осуществления в качестве электродвигателя с постоянным магнитным полем используется электродвигатель со встроенными 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 крепится к сердечнику 31 ротора в состоянии расположения 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. Кроме того, в качестве электродвигателя с постоянным магнитным полем может использоваться электродвигатель с поверхностными постоянными магнитами вместо электродвигателя с внутренними магнитами.

[0016] 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 электротехнических стальных листов 40 в направлении укладки. Каждая 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 дальняя кромка зубчатой части 23 сердечника 21 статора используется для определения внутреннего диаметра сердечника 21 статора. То есть, внутренний диаметр сердечника 21 статора является диаметром виртуального круга, вписанного в дальние кромки всех зубчатых частей 23.

[0017] Каждый из электротехнических стальных листов 40, образующих сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора, может быть сформирован, например, путем пробивки

электротехнического стального листа, служащего основным материалом, или т.п. В качестве электротехнического стального листа 40 может использоваться известный электротехнический стальной лист. Химический состав электротехнического стального листа 40 включает от 2,5% до 3,9% Si в мас.%, как проиллюстрировано ниже. Диапазоны содержания компонентов химического состава, отличающихся от Si, конкретно не ограничены, но ниже описаны удовлетворительные диапазоны в настоящем варианте осуществления. Когда химический состав находится внутри этих диапазонов, среднее значение YP пределов текучести каждого электротехнического стального листа 40 может быть задано равным 380 МПа или больше и 540 МПа или меньше.

[0018] Si: 2,5-3,9%

Al: 0,001-3,0%

Mn: 0,05-5,0%

Остальное: железо и примеси.

[0019] В настоящем варианте осуществления в качестве электротехнического стального листа 40 используется лист изотропной электротехнической стали. В качестве листа изотропной электротехнической стали может использоваться полоса изотропной электротехнической стали по стандарту JIS C 2552:2014. Однако в качестве электротехнического стального листа 40 также возможно использовать лист анизотропной электротехнической стали вместо листа изотропной электротехнической стали. В качестве листа анизотропной электротехнической стали в этом случае может использоваться полоса анизотропной электротехнической стали по стандарту JIS C 2553:2012.

[0020] Для того, чтобы улучшить обрабатываемость электротехнического стального листа 40 и магнитные потери сердечника 21 статора (который в дальнейшем может упоминаться просто как «шихтованный сердечник»), обе стороны электротехнического стального листа 40 покрываются изоляционным покрытием. В качестве материала, составляющего изоляционное покрытие, может использоваться, например, (1) неорганическое соединение, (2) органическая смола, (3) смесь неорганического соединения и органической смолы и т.п. Из них (1) неорганическое соединение или (3) смесь неорганического соединения и органической смолы в качестве изоляционного покрытия могут в значительной степени подавлять ухудшение магнитных свойств из-за усадки каждой клеевой части при отверждении. В качестве примера неорганического соединения может быть приведено, например, (1) соединение дихромата и борной кислоты, и (2) соединение фосфата и диоксида кремния, или т.п. В качестве примера органической смолы может быть приведена эпоксидная смола, акриловая смола, акрил-стирольная смола, полиэфирная смола, силиконовая смола, фторкаучук или т.п.

[0021] Для того, чтобы обеспечить характеристики изоляции между шихтованными друг на друга электротехническими стальными листами 40, значение верхнего предела средней толщины изоляционного покрытия (средней толщины в расчете на одну сторону электротехнического стального листа 40) может быть установлено равным 1,5 мкм, а более предпочтительно 1,2 мкм. С другой стороны, по мере роста толщины изоляционного

покрытия изолирующий эффект насыщается. Кроме того, по мере роста толщины изоляционного покрытия доля, занимаемая электротехническим стальным листом 40 в шихтованном сердечнике, уменьшается, и эксплуатационные характеристики шихтованного сердечника ухудшаются. Поэтому изоляционное покрытие предпочтительно делается тонким в диапазоне, в котором могут быть обеспечены характеристики изоляции. Значение нижнего предела средней толщины изоляционного покрытия (толщины в расчете на одну сторону электротехнического стального листа 40) может быть установлено равным 0,3 мкм, а более предпочтительно 0,5 мкм. В качестве средней толщины изоляционного покрытия, например, можно использовать 0,8 мкм внутри вышеописанного диапазона нижнего и верхнего пределов.

[0022] Средняя толщина изоляционного покрытия представляет собой среднее значение во всем шихтованном сердечнике. Толщина изоляционного покрытия делается такой, чтобы она практически не изменялась во всех положениях шихтования в направлении укладки и окружных положениях вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Поэтому средняя толщина изоляционного покрытия может быть установлена равной численному значению, измеренному в положении верхнего конца шихтованного сердечника. Кроме того, вместо электротехнического стального листа 40 с изоляционным покрытием может использоваться электротехнический стальной лист, на котором не сформировано изоляционное покрытие.

[0023] Когда также учитываются другие факторы, влияющие на магнитные свойства электротехнического стального листа 40, такие как усадка при отверждении клеевой части 41, которая будет описана ниже, предпочтительно использовать 0,15 мм или больше и 0,27 мм или меньше в качестве средней толщины t1 каждого электротехнического стального листа 40, но настоящее изобретение эффективно даже тогда, когда средняя толщина t1 находится за пределами этого диапазона. Когда средняя толщина t1 электротехнических стальных листов 40 уменьшается до менее 0,15 мм, в каждом электротехническом стальном листе 40 могут возникать сжимающее напряжение и растягивающее напряжение из-за усадки при отверждении клеевой части 41, и в результате существует вероятность того, что магнитные свойства каждого электротехнического стального листа 40 ухудшатся. С другой стороны, когда средняя толщина t1 электротехнических стальных листов 40 превышает 0,27 мм, абсолютное значение магнитных потерь увеличивается, и эффекты магнитных свойств не могут быть получены. Кроме того, толщина электротехнического стального листа 40 включает в себя толщину изоляционного покрытия. Средняя толщина t1 электротехнических стальных листов 40 является средним значением во всем шихтованном сердечнике. Толщина каждого электротехнического стального листа 40 делается такой, чтобы она практически не изменялась во всех положениях шихтования в направлении укладки и окружных положениях вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Следовательно, средняя толщина t1 электротехнических стальных листов 40 может быть установлена равной числовому значению, измеренному в положении верхнего конца шихтованного сердечника.

[0024] Как проиллюстрировано на Фиг. 3, множество электротехнических стальных листов 40, образующих сердечник 21 статора, шихтуются посредством клеевой части 41, расположенной во множестве точек. Каждая клеевая часть 41 является клеем, который отверждается без разделения. Например, для клеевой части 41 может использоваться термореактивный клей, отверждаемый за счет полимерного связывания, или т.п. В качестве клея для формирования клеевой части 41 может использоваться масляный поверхностный клей, содержащий (1) акриловую смолу, (2) эпоксидную смолу, (3) акриловую смолу и эпоксидную смолу. Поэтому клеевая часть 41 содержит масляный поверхностный клей на акриловой основе или масляный поверхностный клей на эпоксидной основе или их комбинацию в качестве масляного компонента. В качестве клея для формирования клеевой части 41 в дополнение к термореактивному клею может также использоваться клей радикальной полимеризации или т.п., и с точки зрения производительности предпочтительно используется отверждающийся при комнатной температуре клей. Отверждающийся при комнатной температуре клей отверждается при 20°C-30°C. В качестве отверждающегося при комнатной температуре клея предпочтителен клей на акриловой основе. Типичный клей на акриловой основе включает акриловый клей второго поколения (SGA) или т.п. Может использоваться анаэробный клей, любой из клея-момент и эластомерсодержащего клея на акриловой основе в диапазоне, в котором эффекты настоящего изобретения не ухудшаются. Кроме того, используемый в настоящем документе клей относится к состоянию до его отверждения и становится клеевой частью 41 после отверждения клея.

[0025] Средний модуль упругости на растяжение клеевых частей 41 при комнатной температуре (20°C-30°C) варьируется в диапазоне от 2500 МПа до 5000 МПа. Когда средний модуль упругости на растяжение клеевых частей 41 составляет менее 2500 МПа, возникает проблема уменьшения жесткости шихтованного сердечника. Поэтому значение нижнего предела среднего модуля упругости на растяжение клеевых частей 41 устанавливается равным 2500 МПа, а более предпочтительно 3000 МПа. И наоборот, когда средний модуль упругости на растяжение клеевых частей 41 превышает 5000 МПа, деформация напряжения, прикладываемая к электротехническому стальному листу 40, увеличивается, что вызывает проблему ухудшения магнетизма сердечника. Поэтому значение верхнего предела среднего модуля упругости на растяжение клеевых частей 41 устанавливается равным 5000 МПа, а более предпочтительно 4500 МПа. Средний модуль упругости на растяжение каждой из клеевых частей 41 можно регулировать путем изменения любого или обоих из условий нагрева и повышения давления, применяемых во время склеивания на станции 140 укладки, и типов отвердителя. Кроме того, средний модуль упругости на растяжение измеряется резонансным методом. В частности, модуль упругости на растяжение измеряется в соответствии со стандартом JIS R 1602:1995.

[0026] Более конкретно, сначала изготавливается образец для измерения (не показан). Этот образец получается путем склеивания двух электротехнических стальных листов 40 с использованием измеряемого клея и их отверждения с образованием клеевой

части 41. Когда клей является термореактивным, выполняется отверждение путем нагревания и создания повышенного давления при условиях нагрева и повышенного давления, используемых в реальных операциях. С другой стороны, когда клей является отверждающимся при комнатной температуре, отверждение выполняется путем повышения давления при комнатной температуре. Затем измеряется модуль упругости на растяжение образца резонансным методом. Как было описано выше, способ измерения модуля упругости на растяжение, использующий резонансный метод, осуществляют в соответствии со стандартом JIS R 1602:1995. После этого, когда из модуля упругости образца на растяжение (измеренного значения) исключено влияние самого электротехнического стального листа 40 с помощью вычисления, может быть получен модуль упругости на растяжение только клеевой части 41.

[0027] Поскольку полученный таким образом модуль упругости образца на растяжение равен среднему значению для всего шихтованного сердечника, это значение рассматривается как средний модуль упругости на растяжение. Состав задан таким образом, чтобы средний модуль упругости на растяжение практически не изменялся по всем положениям шихтованного пакета в направлении укладки и окружным положениям вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Поэтому средний модуль упругости на растяжение может также быть установлен равным значению с отвержденной клеевой частью 41 в положении верхнего конца шихтованного сердечника.

[0028] В качестве способа склеивания множества электротехнических стальных листов 40 может использоваться способ склеивания, в котором электротехнические стальные листы 40 накладывают друг на друга после того, как клей в точечной форме нанесен на их нижние поверхности (с одной стороны), и отверждают путем выполнения любого или обоих из нагревания и опрессовывания с образованием клеевой части 41. Кроме того, средством нагрева могут быть любые средства, такие как, например, нагрев сердечника 21 статора в высокотемпературной ванне или электрической печи, или способ нагрева путем непосредственного подвода энергии к сердечнику 21 статора. С другой стороны, когда используется отверждающийся при комнатной температуре клей, электротехнические стальные листы 40 приклеивают друг к другу только путем опрессовывания без нагревания.

[0029] Фиг. 3 показывает один пример рисунка формирования клеевой части 41. Клеевая часть 41 формируется во множестве круглых точек. Более конкретно, клеевая часть 41 формируется в точечной форме со средним диаметром 12 мм в части 22 спинки сердечника с равноугловыми интервалами в окружном направлении. Кроме того, в положении на дальнем конце каждой зубчатой части 23 также формируется клеевая часть 41 в точечной форме со средним диаметром 8 мм. Указанный здесь средний диаметр является примером и может быть подходящим образом выбран из диапазона от 2 мм до 20 мм. Кроме того, рисунок формирования по Фиг. 3 является примером, и число и расположение клеевых частей 41 могут быть подходящим образом изменены по мере необходимости. Кроме того, форма каждой клеевой части 41 не ограничена только круглой

формой, и может быть прямоугольной формой или иными многоугольными формами в случае необходимости.

[0030] Средняя толщина t2 клеевых частей 41 составляет 0,5 мкм или больше и 2,5 мкм или меньше. Когда средняя толщина t2 клеевых частей 41 составляет менее 0,5 мкм, достаточная сила адгезии не может быть обеспечена. Поэтому значение нижнего предела средней толщины t2 клеевых частей 41 установлено равным 0,5 мкм, а более предпочтительно 0,8 мкм. И наоборот, когда средняя толщина t2 клеевых частей 41 превышает 2,5 мкм, возникает проблема, такая как значительное увеличение величины деформации в электротехническом стальном листе 40 из-за усадки при термоотверждении. Поэтому значение верхнего предела средней толщины t2 клеевых частей 41 установлено равным 2,5 мкм, а более предпочтительно 2,0 мкм. Средняя толщина t2 клеевых частей 41 является средним значением во всем шихтованном сердечнике. Средняя толщина t2 клеевых частей 41 практически не изменяется во всех положениях шихтования в направлении укладки и окружных положениях вокруг центральной оси шихтованного сердечника. Поэтому средняя толщина t2 клеевых частей 41 может быть установлена как среднее значение численных значений, измеренных в 10 или более точках в окружном направлении в положениях верхнего конца шихтованного сердечника. Кроме того, средняя толщина клеевых частей 41 может быть регулироваться, например, путем изменения наносимого количества клея.

[0031] Кроме того, в клеено-шихтованном сердечнике для статора, когда средняя толщина электротехнических стальных листов 40 составляет t1 в мм, средняя толщина клеевых частей 41 составляет t2 в мкм, а среднее значение пределов текучести электротехнических стальных листов 40 составляет YP в МПа, удовлетворяется либо условие A соблюдения следующих выражений 1, 2 и 3, либо условие B соблюдения следующих выражений 3, 4 и 5, либо их сочетание.

[0032] $50\times t1-12 \leq t2 \leq 50\times t1-6$ (выражение 1)

$0,15 \leq t1 \leq 0,27$ (выражение 2)

$0,5 \leq t2 \leq 2,5$ (выражение 3)

$0,025\times YP-12 \leq t2 \leq 0,025\times YP-8$ (выражение 4)

$380 \leq YP \leq 540$ (выражение 5)

[0033] Что касается вышеописанного выражения 1, то когда средняя толщина t2 клеевых частей 41 составляет менее $50\times t1-12$, адгезионная прочность между стальными листами уменьшается. С другой стороны, когда средняя толщина t2 клеевых частей 41 превышает $50\times t1-6$, значительно возрастает величина деформация электротехнических стальных листов 40 из-за усадки клея при отверждении. Как было описано выше, средняя толщина t2 клеевых частей 41 выполнена в диапазоне выражения 1.

[0034] Что касается вышеописанного выражения 4, то когда средняя толщина t2 клеевых частей 41 составляет менее $0,025\times YP-12$, не может сохраняться механическая прочность сердечника 21 статора. С другой стороны, когда средняя толщина t2 клеевых частей 41 превышает $0,025\times YP-8$, увеличивается напряжение, прикладываемое к

шихтованному сердечнику из-за усадки клея при отверждении, и магнетизм сердечника ухудшается. Как было описано выше, средняя толщина t2 клеевых частей 41 выполнена в диапазоне выражения 4.

[0035] В дополнение к приведенному выше описанию, когда удовлетворяется только условие А или удовлетворяются оба условия А и В, более предпочтительно, чтобы средняя толщина t1 листа находилась в диапазоне 0,20-0,25 мм, а средняя толщина t2 находилась в диапазоне 1,0-2,0 мкм. Кроме того, когда удовлетворяется только условие В или удовлетворяются оба условия А и В, более предпочтительно, чтобы средняя толщина t2 находилась в диапазоне 1,0-2,0 мкм, а среднее значение YP пределов текучести находилось в диапазоне 450-500 МПа.

[0036] В настоящем варианте осуществления множество электротехнических стальных листов, образующих сердечник 31 ротора, крепятся друг к другу посредством крепежной детали 42 (шканта), проиллюстрированной(го) на Фиг. 1. Однако множество электротехнических стальных листов, образующих сердечник 31 ротора, может также иметь скрепленную клеем шихтованную конструкцию, как в сердечнике 21 статора. Кроме того, шихтованные сердечники, такие как сердечник 21 статора и сердечник 31 ротора, могут быть сформированы путем так называемой укладки намоткой.

Пример

[0037] Сердечник 21 статора изготавливали с использованием производственного устройства 100, проиллюстрированного на Фиг. 4, меняя различные производственные условия. Сначала будет описано производственное устройство 100. В производственном устройстве 100, в то время как электротехнический стальной лист Р подается в направлении стрелки F с рулона С (листовой стали), электротехнический стальной лист Р пробивают множество раз штампом, расположенным на каждой стадии, постепенно придавая форму электротехнического стального листа 40, на нижнюю поверхность электротехнического стального листа 40 наносят клей, и пробитый электротехнический стальной лист 40 шихтуют и приклеивают под давлением при одновременном повышении температуры, формируя клеевую часть 41.

[0038] Как проиллюстрировано на Фиг. 4, производственное устройство 100 включает в себя станцию 110 пробивки первой стадии в ближайшем к рулону С положении, станцию 120 пробивки второй стадии, расположенную смежной со станцией 110 пробивки на стороне выхода в направлении транспортировки электротехнического стального листа Р, и станцию 130 нанесения клея, расположенную смежной со станцией 120 пробивки на стороне выхода далее. Станция 110 пробивки включает в себя фиксированную матрицу 111, расположенную под электротехническим стальным листом Р, и пуансон 112, расположенный над электротехническим стальным листом Р. Станция 120 пробивки включает в себя фиксированную матрицу 121, расположенную под электротехническим стальным листом Р, и пуансон 122, расположенный над электротехническим стальным листом Р. Станция 130 нанесения клея включает в себя аппликатор 131, имеющий множество форсунок, расположенных в соответствии с рисунком нанесения клея.

[0039] Производственное устройство 100 дополнительно включает в себя станцию 140 укладки в положении 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, вырубной штамп 144 для придания внутренней формы, а также пружину 145. Нагревательное устройство 141, стационарная пресс-форма 142 для придания внешней формы и теплоизоляционный элемент 143 располагаются под электротехническим стальным листом P. С другой стороны, вырубной штамп 144 для придания внутренней формы и пружина 145 располагаются над электротехническим стальным листом P. Ссылочная позиция 21 обозначает сердечник статора.

[0040] В производственном устройстве 100, имеющем вышеописанное строение, сначала электротехнический стальной лист P последовательно подают с рулона C в направлении стрелки F на Фиг. 4. Затем выполняют обработку пробивкой электротехнического стального листа P на станции 110 пробивки. Затем выполняют обработку пробивкой электротехнического стального листа P на станции 120 пробивки. Вследствие этих обработок пробивкой электротехнического стального листа P получается форма электротехнического стального листа 40 с частью 22 спинки сердечника и множеством зубчатых частей 23, показанная на Фиг. 3. Однако, поскольку в этот момент сердечник вырублен неполностью, обработка переходит к следующему этапу в направлении стрелки F. На станции 130 нанесения клея на следующем этапе клей, подаваемый из форсунок аппликатора 131, наносят в точечной форме.

[0041] Наконец, электротехнический стальной лист P отправляют на станцию 140 укладки, вырубают вырубным штампом 144 для придания внутренней формы и шихтуют с высокой точностью. Во время шихтования электротехнический стальной лист 40 воспринимает постоянное прижимное усилие вследствие пружины 145. Описанные выше этап пробивки, этап нанесения клея и этап шихтования последовательно повторяют, и тем самым может быть шихтовано заданное число электротехнических стальных листов 40. Затем шихтованный сердечник, сформированный путем шихтования электротехнических стальных листов 40 таким образом, нагревают, например, до температуры 200°C нагревательным устройством 141. При нагревании клей отверждается и формируется клеевая часть 41. В результате выполнения вышеописанных этапов получается сердечник 21 статора.

[0042] Сердечники 21 статора, показанные с №№ 1-31 в Таблице 1A и Таблице 1B, были произведены с использованием описанного выше производственного устройства 100. Химические компоненты электротехнического стального листа 40, используемого в производстве каждого из сердечников 21 статора, были унифицированы следующим образом. Все значения концентрации компонентов приведены в мас.%. Кроме того, в Таблице 1A также показано среднее значение YP предела текучести каждого электротехнического стального листа 40.

Si: 3,1%

Al: 0,7%

Mn: 0,3%

Остальное: Fe и примеси.

[0043] [Таблица 1A]

№	Электротехнический стальной лист		Изоляционное покрытие	Клеевая часть						
	Средняя толщина листа t1 (мм)	Среднее значение предела текучести YP (МПа)	Средняя толщина (мкм)	Средняя толщина t2 (мкм)	Средний модуль упругости на растяжение (МПа)	Рисунок расположения	Удовлетворяется ли выражение 1(*a)	Удовлетворяется ли выражение 4(*b)	Удовлетворяется ли условие A	Удовлетворяется ли условие B
1	0,15	380	0,8	2,4	4000	Расположение в точечной форме	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
2	0,15	380	0,8	0,8	4000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
3	0,15	380	0,8	1,3	4000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
4	0,15	380	0,8	1,1	5800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
5	0,20	415	1,0	0,3	2000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
6	0,20	415	1,0	0,9	3800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
7	0,20	415	1,0	1,4	3800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
8	0,20	415	1,0	1,7	3800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
9	0,20	415	1,0	2,9	3800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
10	0,20	415	1,0	1,0	5800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
11	0,23	460	0,8	0,4	4000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
12	0,23	460	0,8	1,1	4000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
13	0,23	460	0,8	1,9	4000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
14	0,23	460	0,8	3,0	4000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
15	0,23	460	0,8	1,0	5800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
16	0,25	500	0,8	0,4	3000	Расположение в точечной форме	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
17	0,25	500	0,8	1,4	3000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
18	0,25	500	0,8	2,0	3000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
19	0,25	500	0,8	2,4	3000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
20	0,25	500	0,8	2,7	3000	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
21	0,25	500	0,8	1,0	2100	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
22	0,27	530	0,9	0,7	4500	Расположение в точечной форме	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
23	0,27	530	0,9	1,8	4500	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
24	0,27	530	0,9	2,2	4500	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется

25	0,27	530	0,9	3,4	4500	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
26	0,27	530	0,9	1,4	2100	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется
27	0,30	555	1,1	1,3	2700	Расположение в точечной форме	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
28	0,30	555	1,1	1,4	2700	Расположение в точечной форме	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
29	0,30	555	1,1	3,2	2700	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Не удовлетворяется
30	0,20	360	1,0	1,2	3800	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется
31	0,30	475	1,1	2,0	2700	Расположение в точечной форме	Удовлетворяется	Удовлетворяется	Не удовлетворяется	Удовлетворяется

[0044] [Таблица 1B]

№	Механическая прочность		Магнитные свойства		Пример по изобретению/Сравнительный пример
	МПа	Оценка	W15/50	Оценка	
1	8	Превосходная	2,67	Плохие	Сравнительный пример
2	7	Превосходная	2,33	Превосходные	Пример по изобретению
3	8	Превосходная	2,39	Удовлетворительные	Пример по изобретению
4	9	Превосходная	2,70	Плохие	Сравнительный пример
5	1	Плохая	2,32	Превосходные	Сравнительный пример
6	8	Превосходная	2,33	Превосходные	Пример по изобретению
7	9	Превосходная	2,32	Превосходные	Пример по изобретению
8	8	Превосходная	2,36	Превосходные	Пример по изобретению
9	1	Плохая	2,54	Плохие	Сравнительный пример
10	6	Удовлетворительная	2,66	Плохие	Сравнительный пример
11	1	Плохая	2,32	Превосходные	Сравнительный пример
12	9	Превосходная	2,31	Превосходные	Пример по изобретению
13	9	Превосходная	2,29	Превосходные	Пример по изобретению
14	8	Превосходная	2,57	Плохие	Сравнительный пример
15	5	Удовлетворительная	2,55	Плохие	Сравнительный пример
16	1	Плохая	2,38	Удовлетворительные	Сравнительный пример
17	5	Удовлетворительная	2,37	Удовлетворительные	Пример по изобретению
18	10	Превосходная	2,38	Удовлетворительные	Пример по изобретению
19	8	Превосходная	2,39	Удовлетворительные	Пример по изобретению
20	6	Удовлетворительная	2,64	Плохие	Сравнительный пример
21	3	Плохая	2,40	Удовлетворительные	Сравнительный пример
22	2	Плохая	2,39	Удовлетворительные	Сравнительный пример
23	10	Превосходная	2,40	Удовлетворительные	Пример по изобретению
24	9	Превосходная	2,41	Удовлетворительные	Пример по изобретению
25	6	Удовлетворительная	2,63	Плохие	Сравнительный пример
26	1	Плохая	2,64	Плохие	Сравнительный пример
27	3	Плохая	2,41	Удовлетворительные	Сравнительный пример
28	3	Плохая	2,42	Удовлетворительные	Сравнительный пример
29	2	Плохая	2,41	Удовлетворительные	Сравнительный пример
30	6	Удовлетворительная	2,46	Удовлетворительные	Пример по изобретению
31	5	Удовлетворительная	2,44	Удовлетворительные	Пример по изобретению

[0045] В частности, приготовили множество листовых сталей (рулонов C), имеющих вышеописанные химические компоненты. Толщины листа стальных основ листовых сталей были шести типов, включая 0,15 мм, 0,20 мм, 0,23 мм, 0,25 мм, 0,27 мм и 0,30 мм. На каждую из листовых сталей нанесли жидкость для формирования изоляционного покрытия, содержавшую фосфат металла и эмульсию акриловой смолы, и выполняли прокаливание при 300°C с образованием изоляционного покрытия толщиной 0,8 мкм на одной стороне. Одиночную пластину сердечника (электротехнический стальной лист 40), которая имела форму кольца с наружным диаметром 300 мм и внутренним диаметром 240 мм и которая на стороне внутреннего диаметра снабжена 18 прямоугольными зубчатыми частями 23, каждая из которых имеет длину 30 мм и ширину 15 мм, формовали путем пробивки каждой из листовых сталей с использованием описанного выше производственного устройства 100. Затем, последовательно отправляя пробитые одиночные пластины сердечника, наносили клей в точечной форме в положениях, проиллюстрированных на Фиг. 3, и эти одиночные пластины сердечника шихтовали, а затем отверждали путем нагревания при сжатии с заданным давлением, сформировав клеевую часть 41. Шихтованный сердечник (сердечник 21 статора) производили путем повторения той же самой операции для 130 одиночных пластин сердечника.

[0046] Шихтованный сердечник, произведенный описанным выше способом, разрезали по его оси. Затем получали среднюю толщину изоляционного покрытия. Кроме того, для клеевой части 41 получали среднюю толщину t2 (мкм) и средний модуль упругости на растяжение после отверждения. Средний модуль упругости на растяжение получали с использованием описанного выше метода. Кроме того, наружный диаметр каждой клеевой части 41 составлял в среднем 5 мм. В качестве способа получения среднего значения YP пределов текучести одиночных пластин сердечника использовали метод по стандарту JIS Z 2241. Затем среднюю толщину t1 (мм), среднюю толщину t2 (мкм) и среднее значение YP (МПа) предела текучести подставляли в вышеописанные выражения 1 и 4 для проверки того, удовлетворяются ли эти выражения. Результаты показаны в Таблице 1A. Кроме того, средняя толщина t1 (мм) и средняя толщина t2 (мкм) были измерены как описано выше.

[0047] Кроме того, также была оценена механическая прочность шихтованного сердечника. При проведении оценки механической прочности режущую кромку, имеющую ширину 20 мм и угол дистального конца 10° с радиусом 0,15 мм, прижимали к шихтованной части (между парой смежных друг другу электротехнических стальных листов 40) шихтованного сердечника при увеличении нагрузки и оценивали величину нагрузки при его растрескивании. Чем выше нагрузка, тем лучше, и нагрузка в 4 МПа или выше считалась удовлетворительной или превосходной. Для механической прочности в Таблице 1B «превосходная» указывает на то, что обеспечена высокая механическая прочность, «удовлетворительная» указывает на то, что обеспечена необходимая и достаточная механическая прочность, и «плохая» указывает на то, что минимально необходимая

механическая прочность не достигнута. Кроме того, также были оценены магнитные свойства шихтованного сердечника. При проведении оценки магнитных свойств число шихтованных электротехнических стальных листов 40 было установлено равным 20, намотку проводили после того, как шихтованный сердечник был покрыт изоляционной бумагой, и измеряли потери в сердечнике (W15/50 в Таблице 1B) при частоте 50 Гц и плотности магнитного потока 1,5 Тл. Здесь число шихтованных электротехнических стальных листов 40 для оценки магнитных свойств было установлено равным 20 потому, что может быть получен почти тот же самый результат, что и в случае 130 листов. Чем ниже потери в сердечнике (W15/50 в Таблице 1B), тем лучше, и потери в сердечнике 2,50 или меньше, считались удовлетворительными или превосходными. Для магнитных свойств в Таблице 1B «превосходные» указывает на то, что удалось обеспечить очень высокие магнитные свойства, «удовлетворительные» указывает на то, что обеспечены необходимые и достаточные магнитные свойства, и «плохие» указывает на то, что магнитные свойства являются более низкими, чем минимально необходимые магнитные свойства.

[0048] Кроме того, Фиг. 5 показывает график, суммирующий показанные в Таблице 1A результаты в виде соотношения между средней толщиной t1 электротехнических стальных листов 40 и средней толщиной t2 клеевых частей 41. Аналогичным образом, Фиг. 6 показывает график, суммирующий показанные в Таблице 1A результаты в виде соотношения между средним значением YP пределов текучести электротехнических стальных листов 40 и средней толщиной t2 клеевых частей 41.

[0049] Как показано в Таблице 1A и Таблице 1B, в сравнительном примере, показанном в № 1, поскольку выражения 1 и 4 не были удовлетворены, магнитные свойства ухудшились. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 4, поскольку единичная прочность клеевой части была слишком высокой, приложенное к электротехническому стальному листу напряжение было слишком высоким, и магнитные свойства ухудшились. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 5, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком малой, а значит, не удалось обеспечить достаточную силу адгезии. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 9, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком большой по сравнению с малой средней толщиной t1 электротехнического стального листа. В результате в электротехническом стальном листе возникла деформация, и магнитные свойства ухудшились. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 10, поскольку единичная прочность клеевой части была слишком высокой, приложенное к электротехническому стальному листу напряжение было слишком высоким, и магнитные свойства ухудшились.

[0050] Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 11, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком малой, и достаточную силу адгезии обеспечить не удалось. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 14, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком большой, доля, занимаемая электротехническим стальным листом в шихтованном сердечнике, уменьшилась, и магнитные свойства шихтованного сердечника ухудшились. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 15, поскольку

единичная прочность клеевой части была слишком высокой, приложенное к электротехническому стальному листу напряжение было слишком высоким, и магнитные свойства ухудшились. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 16, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком малой, и достаточную силу адгезии обеспечить не удалось.

[0051] Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 20, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком большой, доля, занимаемая электротехническим стальным листом в шихтованном сердечнике, уменьшилась, и магнитные свойства шихтованного сердечника ухудшились. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 21, клеевая часть была слишком мягкой, и механическая прочность ухудшилась. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 22, поскольку не были удовлетворены выражения 1 и 4, механическая прочность ухудшилась.

[0052] Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 25, средняя толщина t2 клеевых частей была слишком большой, что вызвало деформацию электротехнического стального листа, и это повлияло на магнитные свойства. Кроме того, в сравнительном примере, показанном в № 26, клеевая часть была слишком мягкой, что вызвало деформацию электротехнического стального листа, и как механическая прочность, так и магнитные свойства ухудшились. Кроме того, в сравнительных примерах, показанных в №№ 27-29, поскольку средняя толщина t1 электротехнических стальных листов была слишком большой, прочность клеевой части относительно уменьшилась, и механическая прочность шихтованного сердечника уменьшилась.

[0053] С другой стороны, в примерах по настоящему изобретению, включая №№ 2, 3, 6-8, 12, 13, 17-19, 23, 24, 30 и 31, были подтверждены желаемые характеристики как в отношении механической прочности, так и магнитных свойств шихтованного сердечника. Среди этих примеров по изобретению №№ 2, 3, 6-8, 12, 13, 17-19, 23 и 24 удовлетворяли как условию А, так и условию В, а значит, показали более предпочтительные результаты чем, №№ 30 и 31, которые удовлетворяли только одному из условия А и условия В.

[0054] Выше были описаны один вариант осуществления и примеры настоящего изобретения. Однако техническая объем настоящего изобретения не ограничен только вышеописанными вариантом осуществления и примерами, и могут быть проделаны различные модификации без отступлений от сути настоящего изобретения. Например, форма сердечника 21 статора не ограничена только формой, проиллюстрированной в вышеописанном варианте осуществления. В частности, наружный диаметр и внутренний диаметр, толщина шихтованного пакета и число пазов сердечника 21 статора, соотношение размеров зубчатой части 23 в окружном направлении и радиальном направлении, соотношение размеров в радиальном направлении между зубчатой частью 23 и частью 22 спинки сердечника и т.п. могут быть спроектированы произвольно в соответствии с желаемыми характеристиками электродвигателя. В роторе 30 по вышеописанному варианту осуществления набор из двух постоянных магнитов 32 образует один магнитный полюс, но настоящее изобретение не ограничено только этой разновидностью. Например,

один постоянный магнит 32 может образовывать один магнитный полюс, или три или более постоянных магнитов 32 могут образовывать один магнитный полюс.

[0055] В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя 10 был описан электродвигатель с постоянным магнитным полем, но конструкция электродвигателя 10 не ограничена только этим, как будет проиллюстрировано ниже, и кроме того, также могут использоваться различные известные конструкции, не проиллюстрированные ниже. В вышеописанном варианте осуществления электродвигатель с постоянным магнитным полем описан в качестве примера электродвигателя 10, но настоящее изобретение не ограничено только этим. Например, электродвигатель 10 также может быть реактивным электродвигателем или электродвигателем с электромагнитным возбуждением (электродвигателем с обмоткой возбуждения). В вышеописанном варианте осуществления синхронный электродвигатель был описан в качестве примера электродвигателя переменного тока, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель 10 также может быть асинхронным двигателем. В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя 10 был описан двигатель переменного тока, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель 10 может быть электродвигателем постоянного тока. В вышеописанном варианте осуществления в качестве примера электродвигателя 10 был описан двигатель, но настоящее изобретение не ограничено этим. Например, электродвигатель 10 может быть генератором.

[0056] 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.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРИМЕНИМОСТЬ

[0057] В соответствии с настоящим изобретением можно предложить клеено-шихтованный сердечник для статора, в котором может быть подавлено ухудшение магнитных свойств из-за усадки клея при отверждении, а также электродвигатель, включающий в себя такой клеено-шихтованный сердечник для статора. Следовательно, промышленная применимость является высокой.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ССЫЛОЧНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

[0058] 10 - Электродвигатель

21 - Клеено-шихтованный сердечник для статора

40 - Электротехнический стальной лист

41 - Клеевая часть

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Клеено-шихтованный сердечник для статора, содержащий:

множество шихтованных друг на друга электротехнических стальных листов, каждый из которых покрыт с обеих сторон изоляционным покрытием; и

клеевую часть, расположенную во множестве точек между каждым из электротехнических стальных листов, смежных друг другу в направлении укладки, и выполненную вызывающей склеивание каждого из электротехнических стальных листов друг с другом, причем

химический состав каждого из электротехнических стальных листов включает от 2,5% до 3,9% Si по массе,

средний модуль упругости на растяжение каждой из клеевых частей составляет от 2500 МПа до 5000 МПа, и

когда средняя толщина каждого из электротехнических стальных листов составляет t1 в мм, средняя толщина каждой из клеевых частей составляет t2 в мкм, а среднее значение пределов текучести каждого из электротехнических стальных листов составляет YP в МПа, удовлетворяется либо условие A соблюдения следующих выражений 1, 2 и 3, либо условие B соблюдения следующих выражений 3, 4 и 5, либо их сочетание:

$50\times t1-12 \leq t2 \leq 50\times t1-6$ ··· (выражение 1)

$0,15 \leq t1 \leq 0,27$ ··· (выражение 2)

$0,5 \leq t2 \leq 2,5$ ··· (выражение 3)

$0,025\times YP-12 \leq t2 \leq 0,025\times YP-8$ ··· (выражение 4)

$380 \leq YP \leq 540$ ··· (выражение 5).

2. Клеено-шихтованный сердечник для статора по п. 1, удовлетворяющий только условию A или удовлетворяющий условию A и условию B, причем

средняя толщина t1 листа составляет в диапазоне от 0,20 мм до 0,25 мм, и

средняя толщина t2 составляет в диапазоне от 1,0 мкм до 2,0 мкм.

3. Клеено-шихтованный сердечник для статора по п. 1, удовлетворяющий только условию B или удовлетворяющий условию A и условию B, причем

средняя толщина t2 составляет в диапазоне от 1,0 мкм до 2,0 мкм, и

среднее значение YP пределов текучести составляет в диапазоне от 450 МПа до 500 МПа.

4. Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп. 1-3, в котором каждая из клеевых частей содержит масляный поверхностный клей на акриловой основе или масляный поверхностный клей на эпоксидной основе или их комбинацию в качестве масляного компонента.

5. Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп. 1-3, в котором каждая из клеевых частей представляет собой отверждающийся при комнатной температуре клей на акриловой основе, содержащий акриловый клей второго поколения (SGA), включающий эластомерсодержащий клей на акриловой основе.

6. Электродвигатель, содержащий клеено-шихтованный сердечник для статора по

любому из пп. 1-5.

По доверенности

ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ,
ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЗАЯВИТЕЛЕМ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ

1. Клеено-шихтованный сердечник для статора, содержащий:

множество шихтованных друг на друга электротехнических стальных листов, каждый из которых покрыт с обеих сторон изоляционным покрытием; и

клеевую часть, расположенную во множестве точек между каждым из электротехнических стальных листов, смежных друг другу в направлении укладки, и выполненную вызывающей склеивание каждого из электротехнических стальных листов друг с другом, причем

химический состав каждого из электротехнических стальных листов включает от 2,5% до 3,9% Si по массе,

средний модуль упругости на растяжение каждой из клеевых частей составляет от 2500 МПа до 5000 МПа, и

когда средняя толщина каждого из электротехнических стальных листов составляет t1 в мм, средняя толщина каждой из клеевых частей составляет t2 в мкм, а среднее значение пределов текучести каждого из электротехнических стальных листов составляет YP в МПа, удовлетворяются все следующие выражения 1, 2, 3, 4 и 5:

$50\times t1-12 \leq t2 \leq 50\times t1-6$ ··· (выражение 1)

$0{,}15 \leq t1 \leq 0{,}27$ ··· (выражение 2)

$0{,}5 \leq t2 \leq 2{,}5$ ··· (выражение 3)

$0{,}025\times YP-12 \leq t2 \leq 0{,}025\times YP-8$ ··· (выражение 4)

$380 \leq YP \leq 540$ ··· (выражение 5).

2. Клеено-шихтованный сердечник для статора по п. 1, в котором

средняя толщина t1 листа составляет в диапазоне от 0,20 мм до 0,25 мм, и

средняя толщина t2 составляет в диапазоне от 1,0 мкм до 2,0 мкм.

3. Клеено-шихтованный сердечник для статора по п. 1, в котором

средняя толщина t2 составляет в диапазоне от 1,0 мкм до 2,0 мкм, и

среднее значение YP пределов текучести составляет в диапазоне от 450 МПа до 500 МПа.

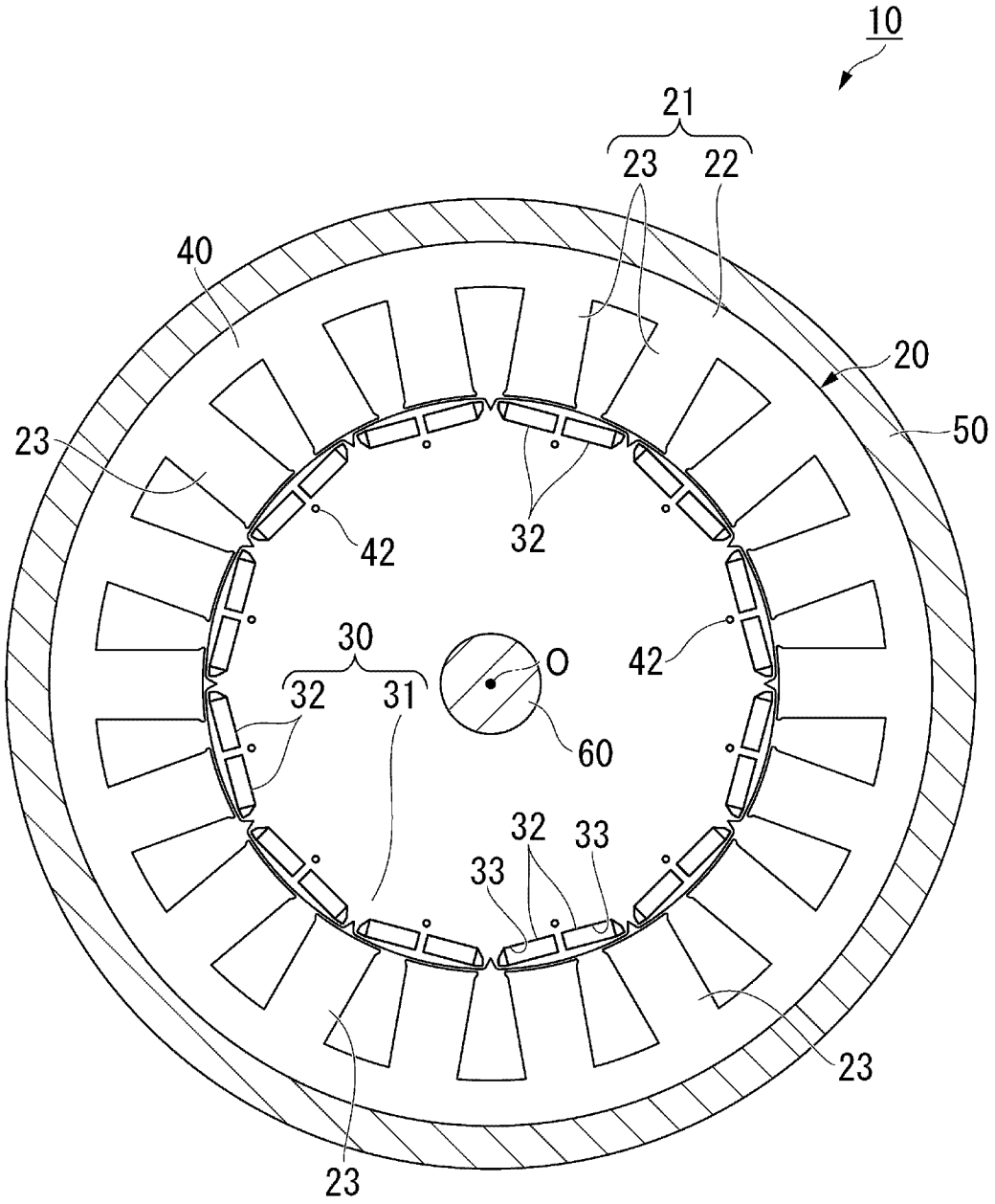
4. Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп. 1-3, в котором каждая из клеевых частей содержит масляный поверхностный клей на акриловой основе или масляный поверхностный клей на эпоксидной основе или их комбинацию в качестве масляного компонента.

5. Клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп. 1-3, в котором каждая из клеевых частей представляет собой отверждающийся при комнатной температуре клей на акриловой основе, содержащий акриловый клей второго поколения (SGA), включающий эластомерсодержащий клей на акриловой основе.

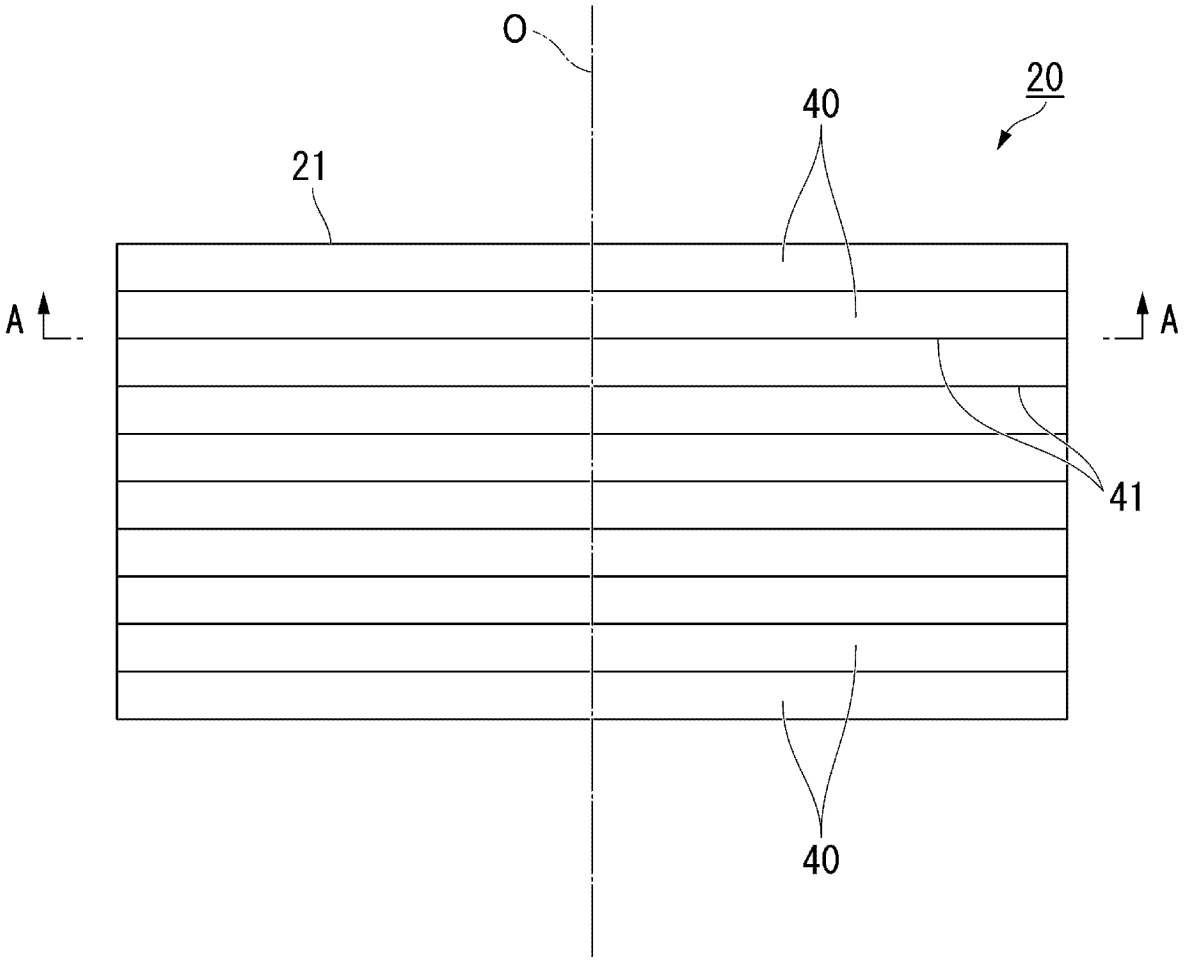
6. Электродвигатель, содержащий клеено-шихтованный сердечник для статора по любому из пп. 1-5.

По доверенности

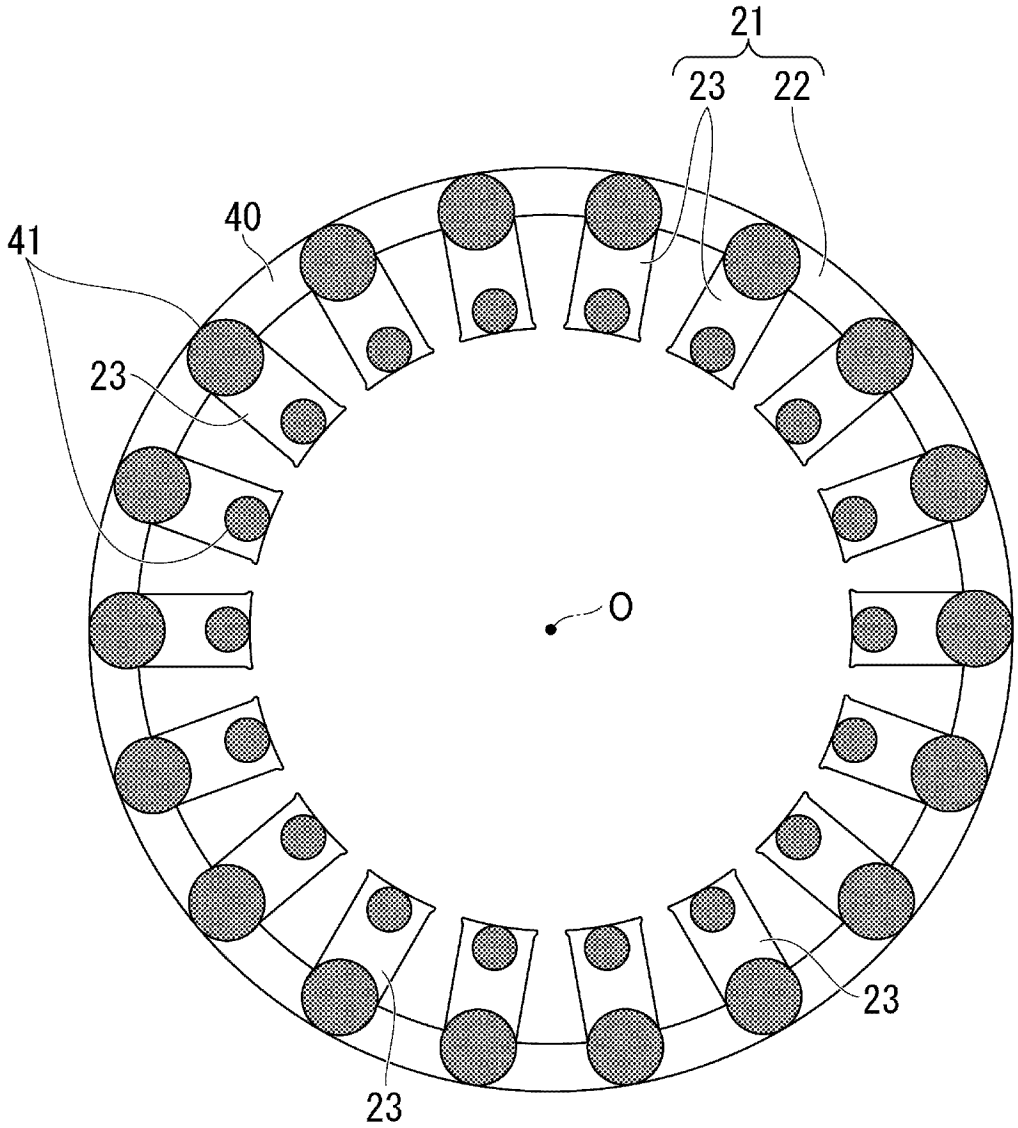
ФИГ. 1



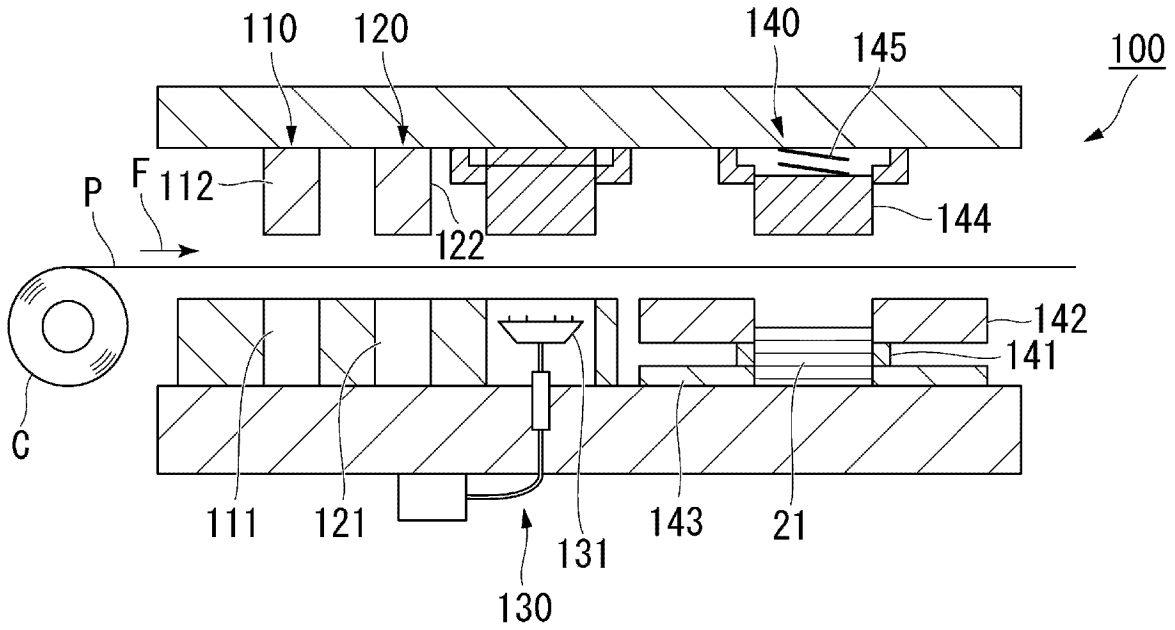
ФИГ. 2



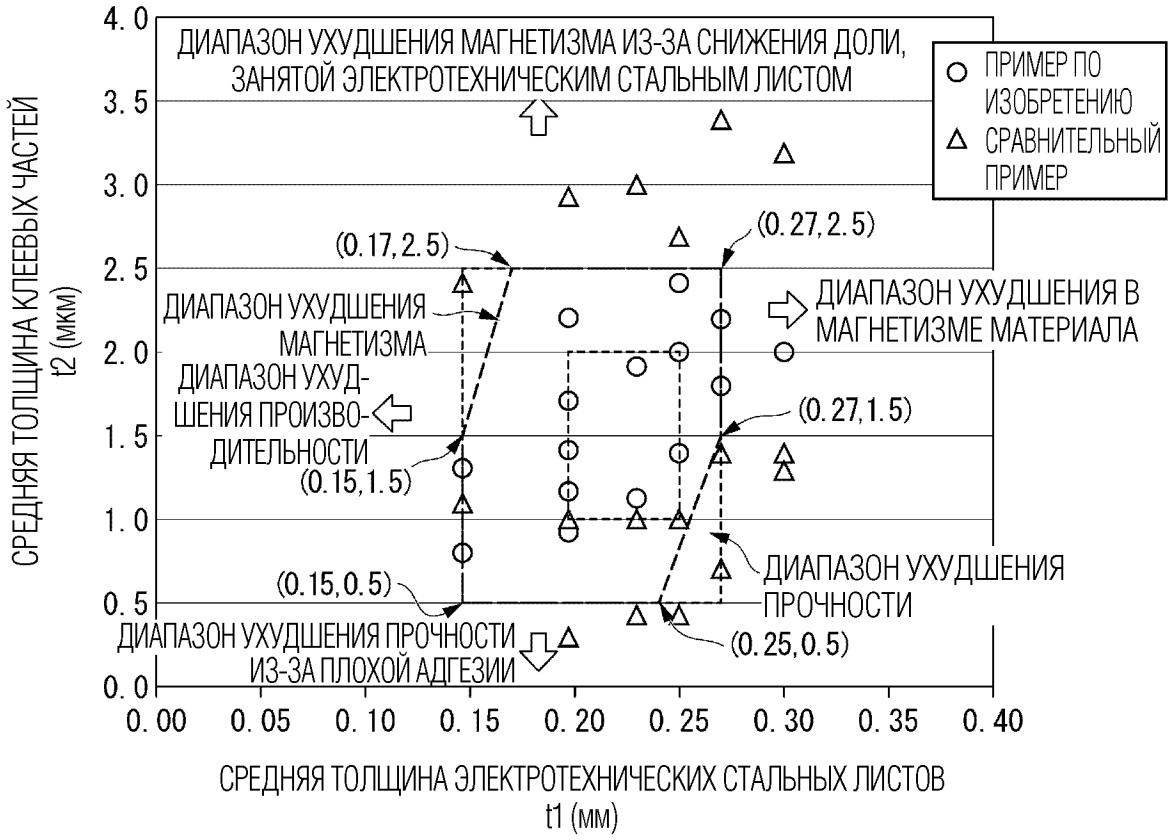
ФИГ. 3



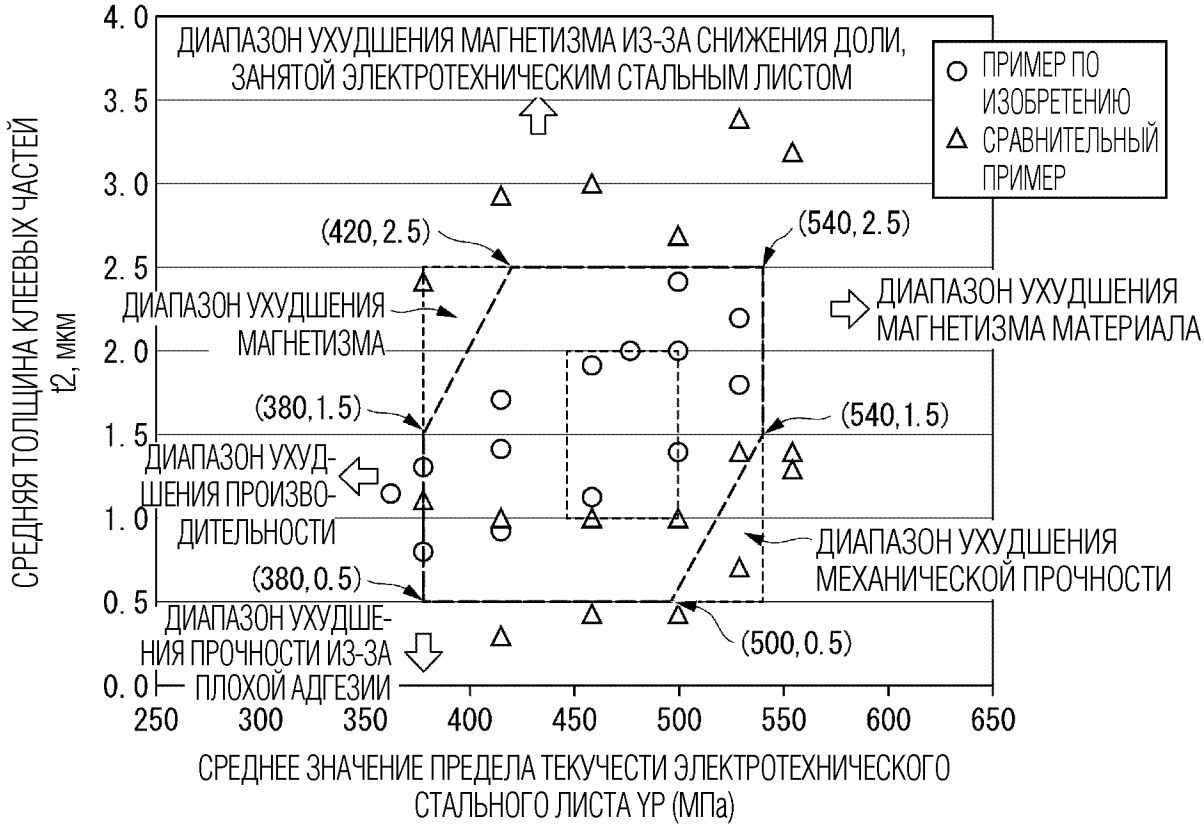
ФИГ. 4


110
120
140
145
100
F
112
P
122
144
142
141
C
111
121
131
143
21
130

ФИГ. 5


ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ МАГНЕТИЗМА ИЗ-ЗА СНИЖЕНИЯ ДОЛИ, ЗАНЯТОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ СТАЛЬНЫМ ЛИСТОМ
ПРИМЕР ПО ИЗОБРЕТЕНИЮ
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР
(0.17, 2.5)
(0.27, 2.5)
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ МАГНЕТИЗМА
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ В МАГНЕТИЗМЕ МАТЕРИАЛА
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
(0.27, 1.5)
(0.15, 1.5)
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ
(0.15, 0.5)
(0.25, 0.5)
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИЗ-ЗА ПЛОХОЙ АДГЕЗИИ
СРЕДНЯЯ ТОЛЩИНА КЛЕЕВЫХ ЧАСТЕЙ t2 (мкм)
СРЕДНЯЯ ТОЛЩИНА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ t1 (мм)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40

ФИГ. 6


ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ МАГНЕТИЗМА ИЗ-ЗА СНИЖЕНИЯ ДОЛИ, ЗАНЯТОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ СТАЛЬНЫМ ЛИСТОМ
ПРИМЕР ПО ИЗОБРЕТЕНИЮ
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР
(420, 2.5)
(540, 2.5)
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ МАГНЕТИЗМА
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ МАГНЕТИЗМА МАТЕРИАЛА
(380, 1.5)
(540, 1.5)
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ
(380, 0.5)
(500, 0.5)
ДИАПАЗОН УХУДШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИЗ-ЗА ПЛОХОЙ АДГЕЗИИ
СРЕДНЯЯ ТОЛЩИНА КЛЕЕВЫХ ЧАСТЕЙ t2, мкм
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО СТАЛЬНОГО ЛИСТА YP (МПа)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
250
300
350
400
450
500
550
600
650