



(10) 申请公布号 CN 118266051 A

(43) 申请公布日 2024.06.28

(21) 申请号 202280076335.4

(22) 申请日 2022.09.22

(30) 优先权数据

2021-202286 2021.12.14 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/035417 2022.09.22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/112420 JA 2023.06.22

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 大村健 市原义悠 吉崎聪一郎

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

专利代理师 杨宏军

(51) Int.Cl.

H01F 41/02 (2006.01)

G21D 8/12 (2006.01)

G22C 38/00 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

权利要求书1页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

层叠铁芯的制造方法

(57) 摘要

提供能够得到良好的铁损特性的层叠铁芯的制造方法。本发明的层叠铁芯的制造方法的特征在于,使用光束直径为200  $\mu\text{m}$ 以下且脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光、或者使用光束直径为200  $\mu\text{m}$ 以下的连续激光将电磁钢板加工成规定形状,前述电磁钢板在表面具有绝缘被膜、并且前述绝缘被膜的表面的粗糙度系数为2.0以上,将经前述加工的电磁钢板层叠。另外,本发明的层叠铁芯的制造方法的特征在于,使用皮秒脉冲激光或飞秒脉冲激光将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板加工成规定形状,或者,将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板在水中或在表面有水膜的状态下使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或使用连续激光加工成规定形状,将经前述加工的电磁钢板层叠。

1. 层叠铁芯的制造方法,其中,使用光束直径为 $200\mu\text{m}$ 以下且脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光、或者使用光束直径为 $200\mu\text{m}$ 以下的连续激光将电磁钢板加工成规定形状,所述电磁钢板在表面具有绝缘被膜、并且所述绝缘被膜的表面的粗糙度系数为2.0以上,

将经所述加工的电磁钢板层叠从而制造层叠铁芯。

2. 层叠铁芯的制造方法,其中,使用皮秒脉冲激光或飞秒脉冲激光将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板加工成规定形状,或者,将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板在水中或在表面有水膜的状态下使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或使用连续激光加工成规定形状,

将经所述加工的电磁钢板层叠从而制造层叠铁芯。

## 层叠铁芯的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及层叠铁芯的制造方法,特别是涉及层叠有电磁钢板的变压器用铁芯、旋转机用铁芯的制造方法。

### 背景技术

[0002] 变压器、旋转机用的铁芯是将电磁钢板加工成规定形状后,将它们层叠而制作的。作为加工成规定形状的方法,一般在旋转机用途中使用冲裁加工、在变压器用中使用斜角加工。若使用通过冲裁加工、斜角加工制作的层叠铁芯制作变压器、旋转机,则存在铁损的偏差大的问题。

[0003] 作为降低上述铁损的偏差的技术,例如有专利文献1~3。专利文献1中,作为铁损的偏差的原因着眼于加工时导入的应变,提出了对冲裁加工后的被加工材料进行退火而除去塑性应变的方法。专利文献2中,与专利文献1同样地,着眼于应变而提出了通过修边加工除去上述应变的方法。专利文献3中公开了下述技术,即,着眼于堆叠精度,通过将斜角加工后的钢板形状控制在规定的范围内从而使得堆叠精度的偏差降低,作为结果,钢板接合部的空隙变小,变压器铁芯的铁损、励磁电流、噪音得到改善。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开平7-298570号公报

[0007] 专利文献2:日本特开2011-217565号公报

[0008] 专利文献3:日本特开2014-86597号公报

### 发明内容

[0009] 发明所要解决的课题

[0010] 通过应用上述以往的技术,能够实现一定程度的层叠铁芯的铁损的特性提高,但现状是要求进一步提高特性。

[0011] 本发明是鉴于上述情况而完成的,其目的在于提供能够得到良好的铁损特性的层叠铁芯的制造方法。

[0012] 用于解决课题的手段

[0013] 本申请的发明人对铁损变得远大于设计值的层叠铁芯进行了详细分析,结果发现存在2个原因。

[0014] 一个原因是,在作为构成层叠铁芯的铁芯原料的电磁钢板的加工部周边处的绝缘击穿引起的短路。层叠铁芯是将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板加工成规定形状而制成铁芯原料,并将前述铁芯原料层叠而制造的。此处,加工成规定形状是指将作为被加工材料的、在表面具有绝缘被膜的电磁钢板加工成与待制作的铁芯形状相符的形状。判明了短路发生的原因在于,由于前述加工而产生了贯通前述铁芯原料的加工部周边的绝缘被膜的裂纹,通过控制该裂纹的产生,能够大幅改善制成层叠铁芯时的铁损特性。另外,判明了将铁

芯原料层叠而制成层叠铁芯时的铁芯原料的加工部周边的叠层间的空隙量对短路引起的铁损劣化产生影响,通过管理铁芯原料的加工面的塌边量,能够控制该空隙量。

[0015] 另一个原因是,在层叠铁芯中,有时使铁芯原料的加工面彼此对合而构成铁芯,在存在这样的对合部的层叠铁芯中,铁芯的对合部处的磁阻变得非常大,成为磁通非常难以通过的状态。本申请的发明人发现,铁芯原料的加工面的算术平均粗糙度(Ra)对磁阻有较大的影响,为了抑制磁阻,降低加工面的粗糙度、减小在铁芯的接合部(对合部)产生的空隙是非常重要的。而且,本申请的发明人还获得了下述新的发现,即,在接合部产生的空隙(接合面的空隙率)变小的情况下,附着于铁芯原料的加工面的绝缘被膜也对磁通的通过产生影响。

[0016] 本申请的发明人对能够控制上述的贯通铁芯原料的加工部周边的绝缘被膜的裂纹(以下也简称为裂纹)、铁芯原料的加工面的塌边量(以下也简称为塌边)、加工面的算术平均粗糙度(以下也简称为加工面的粗糙度)、绝缘被膜向加工面的附着的加工方法进行了研究。其结果,判明了通过利用冲击波,能够比较容易且稳定地控制前述参数(裂纹、塌边、加工面的粗糙度、绝缘被膜向加工面的附着)。

[0017] 本发明是基于上述见解而完成的。即,本发明的主旨构成如下。

[0018] [1]层叠铁芯的制造方法,其中,使用光束直径为 $200\mu\text{m}$ 以下且脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光、或者使用光束直径为 $200\mu\text{m}$ 以下的连续激光将电磁钢板加工成规定形状,前述电磁钢板在表面具有绝缘被膜、并且前述绝缘被膜的表面的粗糙度系数为2.0以上,将经前述加工的电磁钢板层叠从而制造层叠铁芯。

[0019] [2]层叠铁芯的制造方法,其中,使用皮秒脉冲激光或飞秒脉冲激光将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板加工成规定形状,或者,将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板在水中或在表面有水膜的状态下使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或使用连续激光加工成规定形状,将经前述加工的电磁钢板层叠从而制造层叠铁芯。

[0020] 发明效果

[0021] 根据本发明,能够提供能得到良好的铁损特性的层叠铁芯的制造方法。

## 附图说明

[0022] [图1]图1是说明冲裁加工时在电磁钢板上产生的裂纹、塌边、加工面的粗糙度、绝缘被膜向加工面的附着的产生机理的示意图。

[0023] [图2]图2是示出[EI铁芯铁损/原料铁损]与铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数的关系的图。

[0024] [图3]图3是示出[EI铁芯铁损/原料铁损]与加工中使用的激光的脉冲宽度的关系的图。

[0025] [图4]图4是示出[EI铁芯铁损/原料铁损]与加工中使用的激光的光束直径的关系的图。

## 具体实施方式

[0026] 以下,具体说明本发明。

[0027] 在说明将作为被加工材料的电磁钢板加工成规定形状的加工方法之前,对各参数

的推定产生机理进行说明。图1示出一般的冲裁加工时的示意图。裂纹的产生原因在于,在前述加工时,在电磁钢板的加工部周边产生拉伸应力,不能承受该应力而在该钢板表面的绝缘被膜上产生裂纹。因此,为了降低裂纹,优选极力抑制加工时产生拉伸应力。为了抑制拉伸应力的产生,降低向产生拉伸应力的加工部导入的应力是有效的。

[0028] 接下来,关于塌边,由于对加工部长时间施加因加工而产生的应力,电磁钢板(被加工材料)会发生较大的变形。更具体而言,塌边是由于对电磁钢板的加工部长时间施加加工产生的应力,加工部周边的电磁钢板表面发生弯曲而产生的。为了防止塌边,除了降低因加工而导入的应力外,极力缩短加工时间而不使电磁钢板变形也是重要的。

[0029] 对于加工面的粗糙度而言,由于加工部周边的应力而在电磁钢板上产生裂纹,该裂纹传播而引起电磁钢板的延展性破坏,从而加工面的粗糙度增大。因此,为了抑制加工面的粗糙度的增大,极力抑制产生于加工部周边的应力的产生区域及大小,抑制在电磁钢板上产生裂纹是重要的。

[0030] 最后,关于绝缘被膜向加工面的附着,其也与在绝缘被膜上产生的裂纹同样地,在加工时,由于在电磁钢板的加工部周边产生的拉伸应力而使得绝缘被膜被拉入加工部,从而产生绝缘被膜向加工面的附着。为了降低加工面上的绝缘被膜的附着量,降低拉伸应力的产生面积及大小是有效的。

[0031] 基于以上理由,在选定将电磁钢板加工成规定形状的加工方法时,重要的关键点是:(i)降低在加工部产生的应力的影响面积及大小,(ii)极力缩短加工时间。

[0032] 作为将电磁钢板加工成规定形状时的加工方法,一般是使刀刃接触钢板来进行加工的冲裁加工、斜角加工,以非接触的方式向钢板导入热来进行加工的在大气中的激光加工等。与非接触的加工方法相比,使刀刃接触钢板来进行加工的加工方法的加工时间相对地变长。另外,使刀刃接触钢板来进行加工的加工方法中,在加工时被导入钢板的加工部周边的应力也大。另一方面,在大气中进行激光加工的情况下,相对而言能够进行短时间的加工。但是,由于通过热来加工钢板,因此存在在加工部周边的大范围内经热传递而传递热,由于加热·收缩而在该加工部周边的大范围内产生应力的问题。

[0033] 在以往采用的电磁钢板的加工方法中,不能充分满足上述的重要的关键点。本发明中,作为电磁钢板的加工方法,研究了在电磁钢板的加工中迄今为止未被关注的利用冲击波的加工方法。在利用冲击波的加工方法中,当满足规定的条件时能够进行非常好的加工。以下,对利用冲击波的加工方法中的加工条件的关键点进行说明。

[0034] (电磁钢板表面的粗糙度系数的控制)

[0035] 第1发明点为作为被加工材料的电磁钢板表面的粗糙度系数的控制。需要说明的是,本发明中的电磁钢板在表面具有绝缘被膜,因此电磁钢板表面的粗糙度系数是指绝缘被膜表面的粗糙度系数。冲击波是通过在电磁钢板表面产生等离子体并抑制该等离子体的膨胀而产生的。为了抑制该等离子体的膨胀,优选利用水。电磁钢板表面的粗糙度系数大是指在绝缘被膜上产生开裂等,电磁钢板表面的表面积变大。由于电磁钢板表面上吸附有大气中的水分,因此通过增大电磁钢板表面的表面积,从而水分的吸附量增大,当大于某一定量时,会出现抑制等离子体膨胀的效果。以下具体说明得到加工状态变得良好的电磁钢板表面的粗糙度系数的实验。

[0036] <实验1>

[0037] 制造含有Si:3.0质量%、Mn:0.15质量%、Al:0.2质量%,且余量为Fe及不可避免的杂质的钢板坯。将前述钢板坯通过热轧制成1.6mm的热轧板后,实施950°C×60秒的热轧板退火。然后,通过冷轧使板厚成为0.35mm,然后,在980°C×10秒、N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=90:10(体积比)、露点-35°C的条件下进行精加工退火。然后,在精加工退火后的钢板表面涂布将重铬酸铝、乳液树脂及乙二醇混合而成的绝缘被膜形成用涂布液,于350°C进行烧结而形成绝缘被膜,从而制造电磁钢板卷材。涂布涂布液时,使涂布量(湿膜厚;wet膜厚)在1~10μm的范围内变化。

[0038] 从以上述方式得到的电磁钢板卷材在轧制方向和轧制直角方向上各切出一半量的Epstein试验片(铁芯原料),用JIS C 2550中规定的方法评价铁芯原料的铁损(原料铁损)W15/50。在原料铁损的评价后,通过使用Kr气体的气体吸附法测定该铁芯原料的比表面积。然后,根据其结果算出包含表面的微小凹凸在内的真表面积,除以设为表面完全平滑情况下的表观表面积,从而导出电磁钢板表面的粗糙度系数。与此并行地,由用前述方法制作的电磁钢板卷材通过激光加工制作EI铁芯用的散铁芯(discrete core),测定前述EI铁芯铁芯的铁损(EI铁芯铁损)。对于激光加工条件而言,使用连续激光(连续波激光)、输出500W、加工速度2mpm、光束直径100μm来实施。图2示出作为铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数对原料铁损与EI铁芯铁损的比率的影响。可知,在电磁钢板表面的粗糙度系数为2.0以上的情况下,EI铁芯铁损相对于原料铁损的增大被抑制。认为之所以铁损增量被抑制,是由于附着于钢板表面的水分使等离子体的膨胀被抑制,加工从热变化为冲击波,从而前述裂纹、塌边、加工面的粗糙度、绝缘被膜向加工面的附着被抑制。

[0039] <实验2>

[0040] 接下来,实施变更激光的种类来进行加工的实验。使制造电磁钢板卷材时的湿膜厚为1.5μm、9.5μm来制造电磁钢板卷材。从前述电磁钢板卷材切出的试验片(铁芯原料)表面的粗糙度系数分别为1.2、6.3。本实验中,变更了对电磁钢板卷材实施激光加工而制成铁芯原料时的激光的种类(脉冲宽度)。除此以外的条件均使用与前述实验1相同的方法进行评价。结果示于图3。如图3所示,在使用脉冲宽度小于纳(1×10<sup>-9</sup>)秒(图3中记为1.E-09)的脉冲激光进行加工的情况下,未确认到铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数依赖性,两个条件都抑制了铁损增大。这被认为是由于脉冲宽度为小于纳秒的脉冲激光时,能量集中变得非常高,即使没有水分的帮助,在大气中也产生了冲击波。另一方面,在脉冲宽度为纳秒以上(包含连续波)的激光的情况下,在铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数为本发明的范围内的条件的情况下,铁损增大被抑制。

[0041] <实验3>

[0042] 本实验中调查了激光光束直径的影响。在此,使制造电磁钢板卷材时的湿膜厚为5.0μm来制造电磁钢板卷材。从前述电磁钢板卷材切出的试验片(铁芯原料)表面的粗糙度系数为3.3。本实验中,对电磁钢板卷材实施激光加工而制成铁芯原料时,在大气中、水中、在电磁钢板表面形成水膜(水膜形成)的条件这3个条件下,使激光光束直径在50~300μm的范围变更,从而对前述卷材进行激光加工。在此,激光光束直径是作为被加工材料的电磁钢板表面上的激光光束直径。除此以外的实验条件与实验1相同。确认到在大气中的加工中,光束直径大于200μm时,即使铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数在本发明的范围内,制成层叠铁芯后的铁损增量也有增大的倾向,可知光束直径需要为200μm以下。推定这是由

于,与在水中、在电磁钢板表面形成水膜的情况相比,在附着于作为被加工材料的电磁钢板表面的水分的情况下,抑制等离子体的膨胀的效果低,为了产生冲击波,需要基于光束直径的小径化的、进一步的能量集中。另一方面,认为在电磁钢板表面形成水膜来进行加工的情况下、在水中实施加工的情况下,等离子体的膨胀抑制效果高,因此冲击波与激光光束直径无关地产生、并使得利用冲击波的加工得以实施,因此制成层叠铁芯后的铁损增量被抑制。

[0043] 需要说明的是,在作为被加工材料的电磁钢板表面有水膜的状态是指在激光加工时被照射激光的电磁钢板表面的激光照射面(实施激光加工的区域)由水膜覆盖的状态。前述在电磁钢板表面有水膜的状态可以是前述电磁钢板表面的整个面由水膜覆盖,也可以是前述电磁钢板表面的一部分、即包含前述电磁钢板表面的激光照射面的前述电磁钢板表面的一部分的区域由水膜覆盖。另外,水膜的形成方法没有特别限定,例如可举出使用喷雾喷嘴等向前述电磁钢板表面供给水的方法等。

[0044] 接下来,对本发明涉及的层叠铁芯的制造条件进行具体说明。

[0045] 本发明中使用的电磁钢板可以是方向性电磁钢板、无方向性电磁钢板中的任一者。一般而言,在旋转机用的铁芯中使用无方向性电磁钢板,在变压器用的铁芯中使用方向性电磁钢板,但也存在例外,因此不特别限定使用哪种电磁钢板。

[0046] 电磁钢板的组成也没有特别限定,例如,能够采用已知组成。以下,对方向性电磁钢板的优选的组成范围进行说明。

[0047] Si:2.0~8.0质量%

[0048] Si是对提高钢的电阻、改善铁损有效的元素。当Si含量为2.0质量%以上时,铁损降低效果充分提高,另一方面,当Si含量大于8.0质量%时,加工性显著降低,另外,磁通密度也有降低的倾向。因此,Si含量优选为2.0~8.0质量%的范围。

[0049] Mn:0.005~1.0质量%

[0050] Mn是使热加工性良好所必需的元素。当Mn含量小于0.005质量%时,其添加效果不足,另一方面,当Mn含量大于1.0质量%时,磁通密度有降低的倾向。因此,Mn含量优选为0.005~1.0质量%的范围。

[0051] 选自Ni:0.03~1.50质量%、Sn:0.01~1.50质量%、Sb:0.005~1.50质量%、Cu:0.03~3.0质量%、P:0.03~0.50质量%、Mo:0.005~0.10质量%及Cr:0.03~1.50质量%之中的至少1种。

[0052] Ni是对改善热轧板组织、提高磁特性有用的元素。但是,当Ni含量小于0.03质量%时,磁特性的提高效果小,另一方面,当Ni含量大于1.50质量%时,二次再结晶变得不稳定,磁特性有劣化的倾向。因此,在含有Ni的情况下,Ni含量优选为0.03~1.50质量%的范围。

[0053] 另外,Sn、Sb、Cu、P、Mo及Cr分别是对提高磁特性有用的元素,对于它们中的任意而言,当不满足上述各成分的下限时,磁特性的提高效果小,另一方面,当大于上述各成分的上限时,阻碍二次再结晶粒的生长。因此,在含有上述元素的情况下,优选分别以上述含量的范围含有。

[0054] 余量优选为Fe及不可避免的杂质。另外,关于上述成分以外的成分,优选尽可能减少。

[0055] 接下来,对无方向性电磁钢板的优选的组成范围进行说明。

[0056] 通过含有Si、Al、Mn、P,从而能够提高电阻,能够在不损害本发明的主旨的情况下

实现铁损的进一步改善。为了进一步得到铁损降低效果,优选含有Si为0.5质量%以上、Al为0.1质量%以上、Mn为0.05质量%以上、P为0.01质量%以上。另一方面,若大量添加这些元素,则加工性劣化,因此这些元素的含量的上限分别优选为Si:6.5质量%、Al:3.0质量%、Mn:3.0质量%、P:0.5质量%。但是,即使不添加这些元素,也能够充分地得到本发明的效果,因此即使Si:小于0.5质量%、Al:小于0.1质量%、Mn:小于0.05质量%、P:小于0.01质量%也没有问题。

[0057] 另外,除了上述成分以外,能够将作为磁特性的改善元素已知的Sb、Sn、Cr单独或组合2种以上来添加。这些元素的含量分别优选为Sn:0.5质量%以下、Sb:0.5质量%以下及Cr:5.0质量%以下。这是因为,即使以大于前述含量的范围来添加,磁特性改善效果也饱和,不能期待有效的磁特性改善效果,得不到与合金成本上升相称的磁性改善效果。

[0058] 余量优选为Fe及不可避免的杂质。另外,关于上述成分以外的成分,优选尽可能减少。

[0059] 本发明中使用的电磁钢板在表面具有绝缘被膜。绝缘被膜不特别限定于方向性电磁钢板、无方向性电磁钢板,例如能够应用已知的绝缘被膜。但是,在大气中以脉冲宽度为纳秒以上的激光(包括连续激光)进行加工的情况下,需要对电磁钢板表面赋予微小的凹凸,使电磁钢板表面的粗糙度系数为2.0以上。使电磁钢板表面的粗糙度系数为2.0以上的方法没有特别限定。作为优选方法,可举出在在方向性电磁钢板的情况下常用的形成赋予张力的绝缘被膜的情况下,在涂布绝缘张力被膜形成用的涂布液时,使湿膜厚为 $3\mu\text{m}$ 以上、使烧结温度为 $850^{\circ}\text{C}$ 以上来形成绝缘被膜的方法。另外,可举出在无方向性电磁钢板的情况下常见的形成无张力的绝缘被膜的情况下,在涂布不赋予张力的绝缘被膜形成用的涂布液时,使湿膜厚为 $3\mu\text{m}$ 以上、使烧结温度为 $200^{\circ}\text{C}$ 以上来形成绝缘被膜的方法。作为方向性电磁钢板的绝缘张力被膜,例如可举出含有二氧化硅且以磷酸镁或磷酸铝为主成分的张力被膜。作为无方向性电磁钢板的绝缘被膜,例如可举出以无机物为主体且还包含有机物的复合绝缘被膜。所谓复合绝缘被膜,例如可举出以铬酸金属盐、磷酸金属盐等金属盐、或胶体二氧化硅、Zr化合物、Ti化合物等无机物中的至少1种为主体,分散有微细的有机树脂的绝缘被膜。

[0060] 由作为被加工材料的电磁钢板加工成作为铁芯原料的电磁钢板时的制造方法限定于激光加工,而不是一般的斜角加工、冲裁加工等使用刀刃的加工。为了在激光加工中产生冲击波,在对作为被加工材料的电磁钢板实施加工的情况下,优选使用皮秒脉冲激光或飞秒脉冲激光。使用皮秒脉冲激光或飞秒脉冲激光的情况下的加工气氛没有特别限定。在使用皮秒脉冲激光或飞秒脉冲激光的情况下,优选在大气中进行加工,但不限于此,也可以在氮气中、非活性气体中等其它气氛中进行加工。另外,也可以在水中、在钢板表面有水膜的状态下进行加工。在使用脉冲宽度为纳秒以上的激光(包括连续激光)的情况下,设为:在水中或在被加工材料的电磁钢板表面有水膜的条件;或者,即使不是在水中、有水膜的条件下(例如大气中),也在使用电磁钢板表面的粗糙度系数为2.0以上的电磁钢板的基础上,使激光光束直径为 $200\mu\text{m}$ 以下的条件。由此,能够产生冲击波,从而能够利用冲击波进行加工。需要说明的是,在该情况下,电磁钢板表面的粗糙度系数的上限没有特别限定。作为一例,电磁钢板表面的粗糙度系数为12.0以下。另外,在该情况下,激光光束直径的下限没有特别限定。作为一例,前述激光光束直径为 $10\mu\text{m}$ 以上。需要说明的是,纳秒脉冲激光是指脉

冲宽度为1纳秒以上且小于1000纳秒的激光,皮秒脉冲激光是指脉冲宽度为1皮秒以上且小于1000皮秒的激光,飞秒脉冲激光是指脉冲宽度为1飞秒以上且小于1000飞秒的激光。

[0061] 基于以上,本发明为以下(1)~(3)的层叠铁芯的制造方法。(1)使用光束直径为200 $\mu\text{m}$ 以下且脉冲宽度为纳秒以上的激光(包括连续激光)将电磁钢板加工成规定形状(铁芯原料的形状),前述电磁钢板在表面具有绝缘被膜、并且前述绝缘被膜的表面的粗糙度系数为2.0以上,将经前述加工的电磁钢板(铁芯原料)层叠从而制成层叠铁芯;(2)将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板在水中或在表面有水膜的状态下使用脉冲宽度为纳秒以上的激光(包括连续激光)加工成规定的形状(铁芯原料的形状),将经前述加工的电磁钢板(铁芯原料)层叠从而制成层叠铁芯(在该情况下,不限定绝缘被膜的表面的粗糙度系数、激光光束直径);(3)使用皮秒脉冲激光、飞秒脉冲激光将在表面具有绝缘被膜的电磁钢板加工成规定的形状(铁芯原料的形状),将经前述加工的电磁钢板层叠从而制造层层叠铁芯(在该情况下,不限定加工气氛、绝缘被膜的表面的粗糙度系数、激光光束直径)。

[0062] 实施例

[0063] (实施例1)

[0064] 通过连续铸造来制造含有C:0.02质量%、Si:3.0质量%、Mn:0.05质量%、Ni:0.08质量%、Al:70质量ppm、N:36质量ppm、Se:5质量ppm及S:12质量ppm,余量为Fe及不可避免的杂质的成分组成的钢板坯。将前述钢板坯加热至1200 $^{\circ}\text{C}$ 后,通过热轧制成板厚:2.4mm的热轧板后,于1050 $^{\circ}\text{C}$ 实施120秒的热轧板退火。然后,通过盐酸酸洗除去表面的次生氧化皮后,实施冷轧,得到板厚:0.27mm的冷轧板。

[0065] 然后,实施以氧化度 $\text{PH}_2\text{O}/\text{PH}_2=0.35$ 、均热温度:820 $^{\circ}\text{C}$ 保持120秒的脱碳退火。然后,涂布以MgO为主成分的退火分离剂,在1220 $^{\circ}\text{C}$ 、5Hr的条件下实施以二次再结晶·镁橄榄石被膜形成及纯化为目的的最终精加工退火。然后,以湿膜厚0.5~5 $\mu\text{m}$ 涂布包含胶体二氧化硅和磷酸铝的浓度60质量%的绝缘张力被膜形成用的涂布液后,于890 $^{\circ}\text{C}$ 进行烧结而形成绝缘被膜。该烧结处理也兼作平坦化退火。

[0066] 然后,从如上制作的电磁钢板卷材采集原料的铁损特性评价用样品,于800 $^{\circ}\text{C}$ 进行3小时的去应变退火后,按照JIS C 2550评价前述原料的铁损特性。与前述原料特性的评价并行地,对所制作的上述卷材实施使其与变压器的铁芯形状相符的加工。然后,将加工成规定形状后的电磁钢板(铁芯原料)层叠,制作1500kVA、铁芯重量1200kg的3相3脚变压器铁芯。对3个脚进行一次及二次绕线,逐次错开120 $^{\circ}$ 相位,以1.7T/50Hz进行励磁,测定变压器(层叠铁芯)的铁损。

[0067] 对于上述铁芯原料的加工条件而言,在激光输出3.0kW、加工速度100mpm进行。其它的加工条件示于表1。No.1、2、3是使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或连续激光的激光加工方法。No.1、2、3中,是在大气中、且使用前述激光进行加工时的铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数在本发明的范围外,因此为通常的利用热能的加工,制成层叠铁芯时的铁损特性大幅劣化。No.7、9是使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或连续激光的激光加工方法。No.7、9中,是在大气中、且使用前述激光进行加工时的铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数在本发明的范围内,但激光光束直径比本发明范围大。因此,能量集中不足,结果是不产生冲击波,成为了通常的利用热能的加工,因此制成层叠铁芯时的铁损特性大幅劣化。可知这些以外的在本发明的范围内进行加工的发明例中,层叠铁芯的铁损特性的劣化

被抑制,得到了良好的铁损特性。

[0068] [表1]

[0069]

No.	加工气氛	有无水膜	激光光束直径 ( $\mu\text{m}$ )	电磁钢板表面的 粗糙度系数	激光的脉冲宽度	原料铁损 (W/kg)	层叠铁芯 铁损 (W/kg)	铁损增加 比率*1	备注
1	大气	无	100	1.6	连续	0.95	1.60	1.68	比较例
2	大气	无	100	1.6	10 $\mu\text{s}$	0.95	1.58	1.66	比较例
3	大气	无	100	1.6	300ns	0.95	1.57	1.65	比较例
4	大气	无	100	1.6	90ps	0.95	1.26	1.33	发明例
5	大气	无	100	1.6	200fs	0.95	1.26	1.33	发明例
6	大气	无	100	3.8	10 $\mu\text{s}$	0.95	1.26	1.33	发明例
7	大气	无	250	3.8	100ns	0.95	1.63	1.72	比较例
8	大气	有	250	1.6	10 $\mu\text{s}$	0.95	1.26	1.33	发明例
9	大气	无	250	3.8	连续	0.95	1.62	1.71	比较例
10	大气	有	250	3.8	连续	0.95	1.30	1.37	发明例
11	大气	无	50	3.8	连续	0.95	1.29	1.36	发明例
12	水中	—	300	1.2	连续	0.95	1.29	1.36	发明例
13	水中	—	50	1.2	90ps	0.95	1.30	1.37	发明例

\*1 层叠铁芯铁损 (W/kg) / 原料铁损 (W/kg)

[0070] (实施例2)

[0071] 制造含有Si:2.8质量%、Mn:0.1质量%、Al:1.2质量%,且余量为铁及不可避免的杂质的钢板坯。将前述钢板坯通过热轧制成1.6mm的热轧板后,实施900°C×60秒的热轧板退火。然后,通过冷轧使板厚成为0.15mm,然后,在1040°C×10秒、N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=70:30(体积比)、露点-50°C的条件下进行精加工退火。然后,在钢板表面以湿膜厚0.5~5μm涂布将重铬酸铝、乳液树脂及乙二醇混合而成的绝缘被膜形成用的涂布液后,于300°C进行烧结,从而形成绝缘被膜。

[0072] 从这样得到的电磁钢板卷材在轧制方向和轧制直角方向上各切出一半量的 Epstein 试验片,用 JIS C 2550-3 中规定的方法评价原料的铁损 W<sub>10/400</sub>。与前述原料的评价并行地,使由该卷材加工成规定形状而得到的电磁钢板(铁芯原料)层叠,并且,使铁芯原料对合,得到分裂型定子。使用3相4极24槽的分布绕组稀土类磁铁 IPM 电动机(额定输出 600W)的一体型转子、及前述分割型定子组装成电动机。针对所制作的电动机,使用包含制动电动机和转速计、扭矩仪、功率表等的电动机特性评价装置测定转速 3500rpm 的无负荷损失(W)。

[0073] 对于向铁芯原料的加工条件而言,在激光输出 3.0kW、加工速度 100mpm 的条件下进行。其它的加工条件示于表 2。No. 1、2、3 是使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或连续激光的激光加工方法。No. 1、2、3 中,是在大气中、且使用前述激光进行加工时的铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数在本发明的范围外,因此为通常的利用热能的加工,制成层叠铁芯时的铁损特性大幅劣化。No. 7、9 是使用脉冲宽度为纳秒以上的脉冲激光或连续激光的激光加工方法。No. 7、9 中,是在大气中、且使用前述激光进行加工时的铁芯原料的电磁钢板表面的粗糙度系数在本发明的范围内,但激光光束直径比本发明范围大。因此,能量集中不足,结果是不产生冲击波,成为通常的利用热能的加工,因此制成层叠铁芯时的铁损特性大幅劣化。可知这些以外的在本发明的范围内进行加工的发明例中,层叠铁芯的铁损特性的劣化被抑制,得到了良好的铁损特性。

[0074] [表 2]

[0075]

No.	加工气氛	有无水膜	激光光束直径 ( $\mu\text{m}$ )	电磁钢板表面的 粗糙度系数	激光的脉冲宽度	原料铁损 (W/kg)	层叠铁芯 无负荷损失 (W)	铁损增加 比率*1	备注
1	大气	无	100	1.6	连续	10	80	8.00	比较例
2	大气	无	100	1.6	10 $\mu\text{s}$	10	80	8.00	比较例
3	大气	无	100	1.6	300ns	10	80	8.00	比较例
4	大气	无	100	1.6	90ps	10	45	4.50	发明例
5	大气	无	100	1.6	200fs	10	45	4.50	发明例
6	大气	无	100	3.8	10 $\mu\text{s}$	10	45	4.50	发明例
7	大气	无	250	3.8	100ns	10	80	8.00	比较例
8	大气	有	250	1.6	10 $\mu\text{s}$	10	45	4.50	发明例
9	大气	无	250	3.8	连续	10	80	8.00	比较例
10	大气	有	250	3.8	连续	10	45	4.50	发明例
11	大气	无	50	3.8	连续	10	45	4.50	发明例
12	水中	—	300	1.2	连续	10	45	4.50	发明例
13	水中	—	50	1.2	90ps	10	45	4.50	发明例

\*1 层叠铁芯无负荷损失 (W) / 原料铁损 (W/kg)

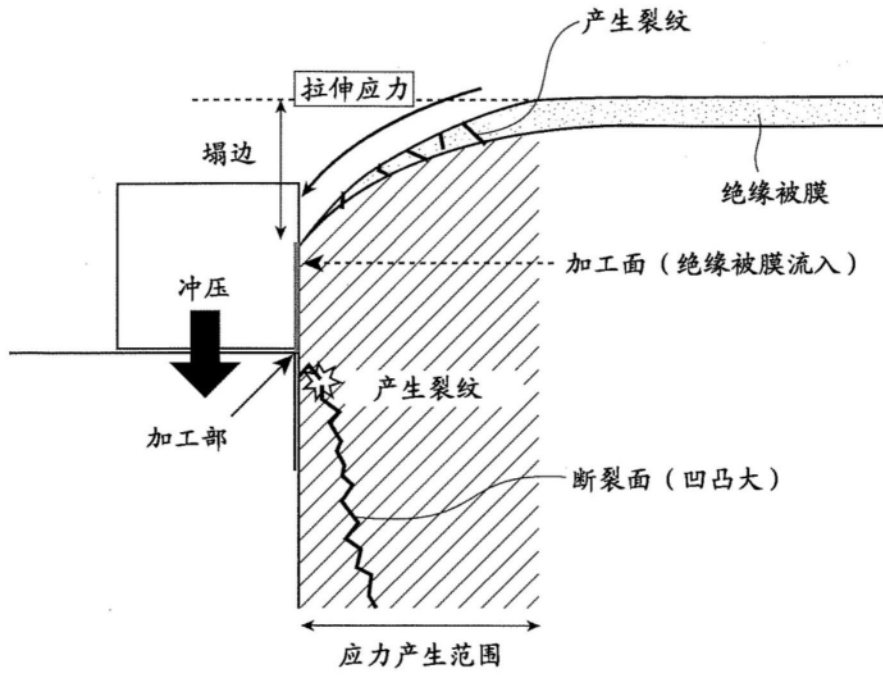


图1

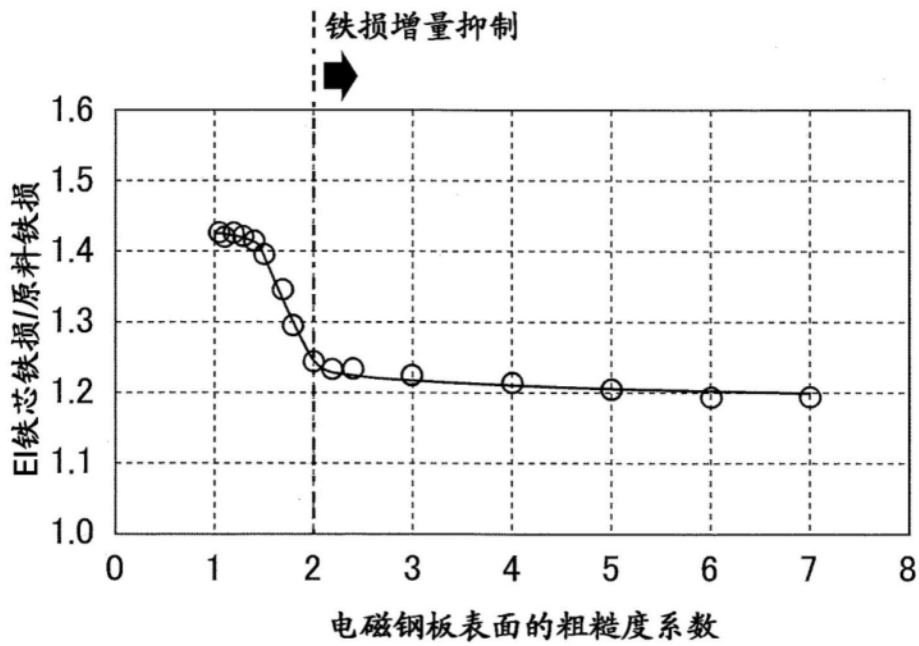


图2

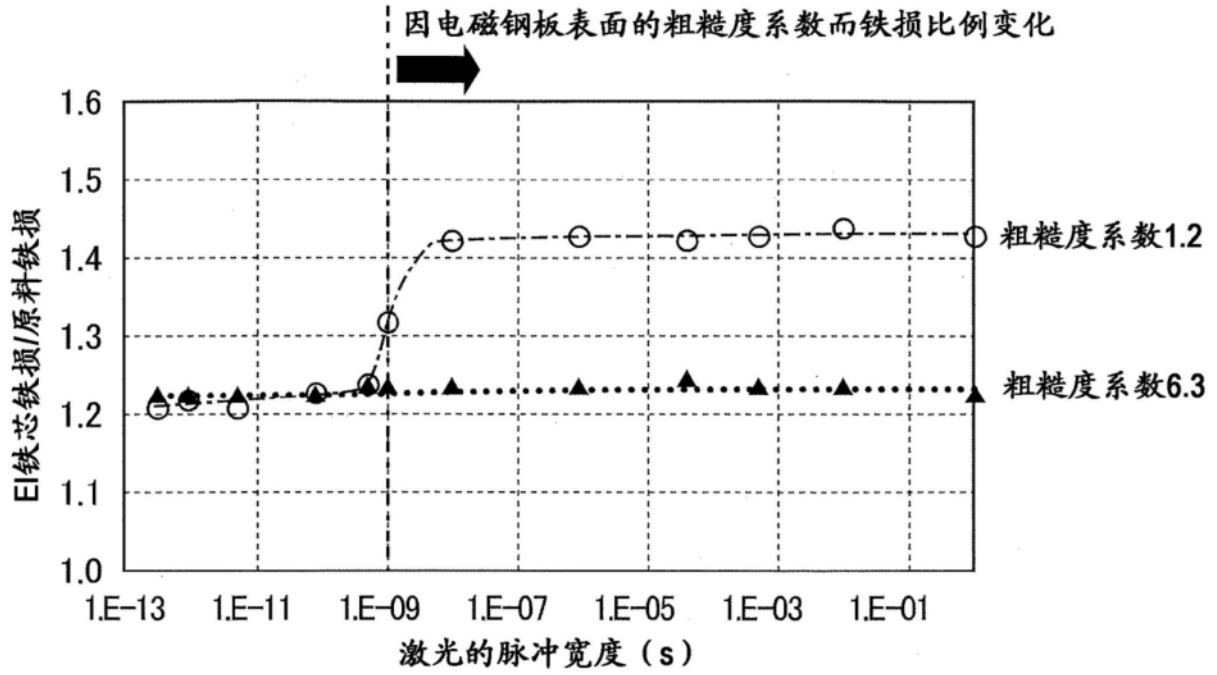


图3

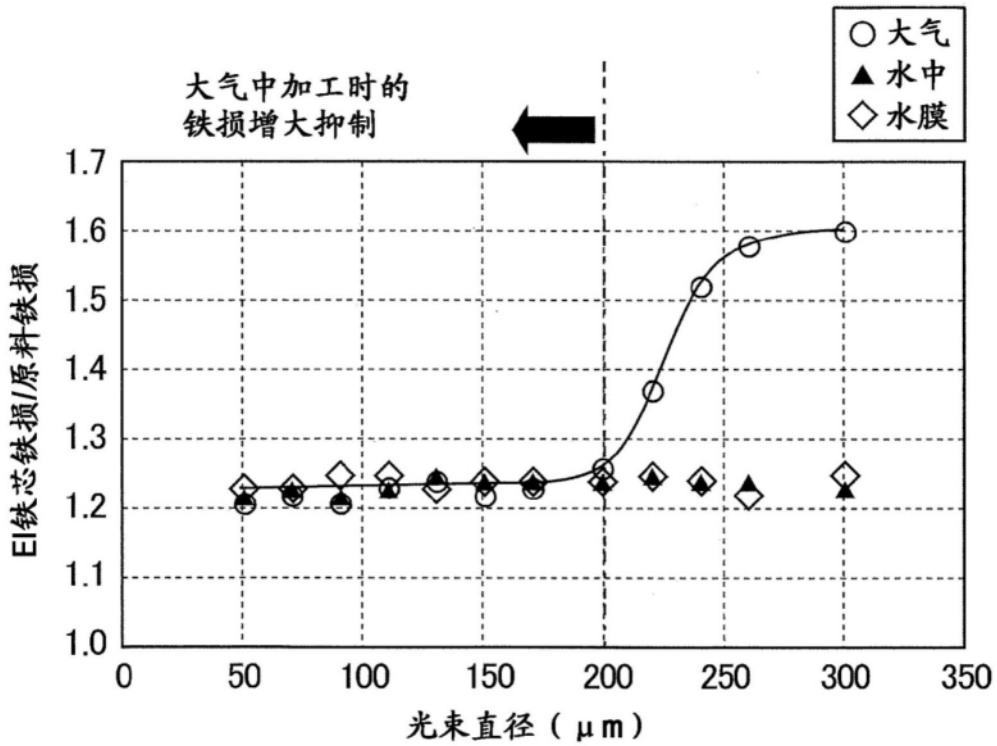


图4