



(10) 申请公布号 CN 119698491 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 25

(21) 申请号 202380061590.6

(22) 申请日 2023.08.31

(30) 优先权数据

2022-145195 2022.09.13 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.02.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/031709 2023.08.31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/057940 JA 2024.03.21

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 斋藤勇人 田中孝明 大久保智幸

末广龙一 丸山茂宏

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

专利代理师 盛曼 金龙河

(51) Int. Cl.

G22C 38/00 (2006.01)

G21D 8/12 (2006.01)

G21D 9/46 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

权利要求书1页 说明书12页

(54) 发明名称

高强度无取向性电磁钢板及其制造方法

(57) 摘要

在对以质量%计含有C:0.0050%以下、Si:2.0~5.0%、Mn:0.2~1.8%、Al:0.5~2.5%、Mo:0.001~0.100%、Sn和Sb:合计为0.02~0.10质量%并且Si、Al和Mn的含量满足规定关系的钢坯进行热轧、热轧板退火、冷轧、最终退火而制造无取向性电磁钢板时,将上述最终退火中的均热温度设定为500°C以上且由Si、Al和Mn的含量确定的温度T以下,将在上述均热温度保持的时间设定为60s以下,将500°C以上的停留时间设定为100s以下,使拉伸强度为700~950MPa、板厚中心部的位错密度为 $1.2 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上,由此得到最终退火后为高强度且去应力退火后为低铁损的无取向性电磁钢板。

1. 一种无取向性电磁钢板,其具有如下成分组成:含有C:0.0050质量%以下、Si:2.0~5.0质量%、Mn:0.2~1.8质量%、P:0.020质量%以下、S:0.0050质量%以下、Al:0.5~2.5质量%、N:0.0050质量%以下、Mo:0.001~0.100质量%和O:0.0050质量%以下,还含有合计为0.02~0.10质量%的Sn和Sb中的至少一种,并且将所述Si、Al和Mn的含量(质量%)分别表示为[Si]、[Al]和[Mn]时,所述含量满足下述(1)式,余量由Fe和不可避免的杂质构成,

所述无取向性电磁钢板的拉伸强度为700~950MPa,并且板厚中心部的位错密度为 $1.2 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上,

$$[\text{Si}] + [\text{Al}] / 2.5 + [\text{Mn}] / 4 \geq 2.72 \quad \cdots (1)。$$

2. 根据权利要求1所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,在所述成分组成的基础上还含有Ge:0.0005~0.0100质量%。

3. 根据权利要求1或2所述的无取向性电磁钢板,其特征在于,在所述成分组成的基础上还含有下述A~H组中的至少一组的成分,

- A组:Zn:0.001~0.010质量%;
- B组:Pb:0.0001~0.0030质量%;
- C组:Ca、Mg和REM中的至少一种:合计为0.0010~0.0080质量%;
- D组:Ti、Nb和V中的至少一种:合计为0.0005~0.0030质量%;
- E组:Cr、Cu和Ni中的至少一种:合计为0.01~0.40质量%;
- F组:B:0.0003~0.0040质量%;
- G组:Co、W和Ta中的至少一种:合计为0.0005~0.0200质量%;
- H组:Ga:0.0005~0.0100质量%和As:0.001~0.010质量%中的至少一种。

4. 一种无取向性电磁钢板的制造方法,其是对具有权利要求1~3中任一项记载的成分组成的钢坯进行热轧、热轧板退火、一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧而制成最终板厚的冷轧板并实施最终退火的无取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,

将所述最终退火中的均热温度设定为500°C以上且由下述(2)式定义的温度T(°C)以下,将在所述均热温度保持的时间设定为60s以下,将在500°C以上的温度停留的时间设定为100s以下,

$$T = 184 \times ([\text{Si}] + [\text{Al}] / 2.5 + [\text{Mn}] / 4) \quad \cdots (2)。$$

高强度无取向性电磁钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及具有高强度的低铁损的无取向性电磁钢板及其制造方法。

背景技术

[0002] 近年来,对电气设备的节能化的要求正在增加,对于旋转机的铁心中使用的无取向性电磁钢板,也强烈要求提高磁特性。旋转机的铁心一般由转子(转子铁心)和定子(定子铁心)构成。在大径的电动机、转速高的电动机中,转子铁心被施加大的离心力,因此要求用于铁心的无取向性电磁钢板(原材钢板)为高强度。另一方面,要求用于定子铁心的无取向性电磁钢板为低铁损。

[0003] 另外,从提高原材的成品率、生产效率的观点出发,优选能够从同一无取向性电磁钢板(原材钢板)上截取转子铁心材料和定子铁心材料,进而从降低定子铁心的铁损的观点出发,优选能够在铁心组装后实施去应力退火时进行低铁损化。

[0004] 作为具有高强度的无取向性电磁钢板,例如专利文献1中提出了一种磁特性优良的高强度电磁钢板,其具有以质量%计含有C:0.060%以下、Si:0.2~3.5%、Mn:0.05~3.0%、P:0.30%以下、S:0.040%以下、Al:2.50%以下和N:0.020%以下并且余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,在钢材内部残存加工组织。

[0005] 另外,专利文献2中提出了一种电磁钢板,其具有以质量%计含有C:0.005%以下、Si:大于3.5%且4.5%以下、Mn:0.01%以上且0.10%以下、Al:0.005%以下、Ca:0.0010%以上且0.0050%以下、S:0.0030%以下和N:0.0030%以下并且满足Ca/S:0.80以上、余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成,所述电磁钢板的板厚为0.40mm以下,未再结晶的加工组织为10%以上且70%以下,拉伸强度(TS)为600MPa以上,铁损 $W_{10/400}$ 为30W/kg以下。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2005-113185号公报

[0009] 专利文献2:日本特开2012-149337号公报

发明内容

[0010] 发明所要解决的问题

[0011] 但是,根据发明人的调查结果可知,就上述专利文献1和专利文献2公开的技术而言,虽然能够得到高强度的无取向性电磁钢板,但存在去应力退火后的铁损未必良好的问题。

[0012] 本发明是鉴于现有技术所存在的上述问题而完成的,其目的在于,提供具有最终退火后为高强度且去应力退火后为低铁损的特性的无取向性电磁钢板,并且提出其有利的制造方法。

[0013] 用于解决问题的方法

[0014] 发明人为了解决上述问题,着眼于钢的成分组成和制造条件而反复进行了深入研

究。其结果发现,通过根据钢的成分组成将冷轧板的最终退火温度控制在适当的温度,能够得到最终退火后为高强度且去应力退火后为低铁损的无取向性电磁钢板,从而完成了本发明。

[0015] 基于上述见解的本发明为一种无取向性电磁钢板,其具有如下成分组成:含有C:0.0050质量%以下、Si:2.0~5.0质量%、Mn:0.2~1.8质量%、P:0.020质量%以下、S:0.0050质量%以下、Al:0.5~2.5质量%、N:0.0050质量%以下、Mo:0.001~0.100质量%和O:0.0050质量%以下,还含有合计为0.02~0.10质量%的Sn和Sb中的至少一种,并且将上述Si、Al和Mn的含量(质量%)分别表示为[Si]、[Al]和[Mn]时,上述含量满足下述(1)式,余量由Fe和不可避免的杂质构成,上述无取向性电磁钢板的拉伸强度为700~950MPa,板厚中心部的位错密度为 $1.2 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上。

[0016] $[\text{Si}] + [\text{Al}] / 2.5 + [\text{Mn}] / 4 \geq 2.72 \quad \dots (1)$

[0017] 本发明的上述无取向性电磁钢板的特征在于,在上述成分组成的基础上还含有Ge:0.0005~0.0100质量%。

[0018] 另外,本发明的上述无取向性电磁钢板的特征在于,在上述成分组成的基础上还含有下述A~H组中的至少一组的成分。

[0019] • A组:Zn:0.001~0.010质量%

[0020] • B组:Pb:0.0001~0.0030质量%

[0021] • C组:Ca、Mg和REM中的至少一种:合计为0.0010~0.0080质量%

[0022] • D组:Ti、Nb和V中的至少一种:合计为0.0005~0.0030质量%

[0023] • E组:Cr、Cu和Ni中的至少一种:合计为0.01~0.40质量%

[0024] • F组:B:0.0003~0.0040质量%

[0025] • G组:Co、W和Ta中的至少一种:合计为0.0005~0.0200质量%

[0026] • H组:Ga:0.0005~0.0100质量%和As:0.001~0.010质量%中的至少一种

[0027] 另外,本发明提出一种无取向性电磁钢板的制造方法,其是对具有上述中任一项记载的成分组成的钢坯进行热轧、热轧板退火、一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧而制成最终板厚的冷轧板并实施最终退火的无取向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,将上述最终退火中的均热温度设定为500°C以上且由下述(2)式定义的温度T(°C)以下,将在上述均热温度保持的时间设定为60s以下,将在500°C以上的温度停留的时间设定为100s以下。

[0028] $T = 184 \times ([\text{Si}] + [\text{Al}] / 2.5 + [\text{Mn}] / 4) \quad \dots (2)$

[0029] 发明效果

[0030] 根据本发明,能够从同一无取向性电磁钢板上截取高强度的转子铁心材料和低铁损的定子铁心材料,因此能够高效地制造高性能的电动机铁心。

具体实施方式

[0031] 首先,对本发明的无取向性电磁钢板的成分组成及其限定理由进行说明。

[0032] C:0.0050质量%以下

[0033] C是形成碳化物而使铁损劣化的有害元素,因此在本发明中限制为0.0050质量%以下。优选为0.0035质量%以下。需要说明的是,C的下限没有特别规定,但是从抑制炼钢工序

中的脱碳成本上升的观点出发,优选设定为约0.0003质量%。

[0034] Si:2.0~5.0质量%

[0035] Si是具有提高钢的比电阻、降低铁损的效果的重要元素。另外,还具有通过固溶强化而使钢板高强度化的效果。为了得到这些效果,需要含有2.0质量%以上。优选为2.8质量%以上。另一方面,Si大于5.0质量%时,饱和磁通密度降低,或者难以进行轧制来制造,因此上限设定为5.0质量%。优选为3.8质量%以下。

[0036] Mn:0.2~1.8质量%

[0037] Mn与Si同样是对铁损的降低和高强度化有效的元素。另外,也是改善热加工性的元素。因此,在本发明中,含有0.2质量%以上的Mn。优选为0.3质量%以上。另一方面,Mn大于1.8质量%时,由于Mn碳化物的析出而使铁损劣化,因此上限设定为1.8质量%。优选为1.4质量%以下。

[0038] P:0.020质量%以下

[0039] P在晶界偏析而使钢板脆化、使轧制性降低,因此需要将上限设定为0.020质量%。优选为0.015质量%以下。需要说明的是,P通过固溶强化还有助于钢板的高强度化,为了得到上述效果,优选含有0.005质量%以上。

[0040] S:0.0050质量%以下

[0041] S是形成微细的硫化物、使铁损劣化的有害元素,因此在本发明中限制为0.0050质量%以下。优选为0.0030质量%以下。

[0042] Al:0.5~2.5质量%

[0043] Al与Si同样具有提高钢的比电阻、降低铁损的效果。另外,还具有通过固溶强化使钢板高强度化的效果。为了得到这些效果,需要含有0.5质量%以上。优选为0.7质量%以上。另一方面,过量添加Al时,形成氮化物、氧化物而损害制造性,因此上限设定为2.5质量%。优选为1.8质量%以下。

[0044] N:0.0050质量%以下

[0045] N是形成微细氮化物、阻碍晶粒生长、使铁损劣化的有害元素,因此需要限制为0.0050质量%以下。优选为0.0030质量%以下。

[0046] Mo:0.001~0.100质量%

[0047] Mo是对于提高最终退火后的位错密度而言必要的元素,需要含有0.001质量%以上。另一方面,大于0.100质量%而添加时,在去应力退火中形成碳化物,阻碍晶粒生长,使去应力退火后的磁特性劣化。因此,以0.001~0.100质量%的范围添加Mo。需要说明的是,从进一步提高位错密度的观点出发,Mo优选添加0.003质量%以上,更优选添加0.005质量%以上。另一方面,从进一步降低去应力退火后的铁损的观点出发,Mo优选设定为0.070质量%以下。

[0048] O:0.0050质量%以下

[0049] O是形成氧化物、阻碍晶粒生长、使铁损劣化的有害元素,因此需要限制为0.0050质量%以下。优选为0.0030质量%以下。

[0050] Sn和Sb中的至少一种:合计为0.02~0.10质量%

[0051] Sn和Sb都是对于通过改善织构来提高磁特性而言有效的元素。因此,需要含有合计为0.02质量%以上的Sn、Sb中的至少一种。另一方面,即使过量添加,上述效果也饱和,因此上限合计设定为0.10质量%。

[0052] $[\text{Si}]+[\text{Al}]/2.5+[\text{Mn}]/4\geq 2.72$

[0053] 对于本发明的无取向性电磁钢板,将上述Si、Al和Mn的含量(质量%)分别表示为[Si]、[Al]和[Mn]时,上述含量需要满足下述(1)式。

[0054] $[\text{Si}]+[\text{Al}]/2.5+[\text{Mn}]/4\geq 2.72 \quad \dots (1)$

[0055] 上述(1)式是表示最终退火中的恢复和再结晶的难度、即位错密度降低的难度的参数,在满足上述(1)式的基础上,实施后述的适当的最终退火,由此能够将最终退火后的拉伸强度和钢板的板厚中心部的位错密度提高至所期望的值。需要说明的是,上述含量优选满足下述(1')式。

[0056] $[\text{Si}]+[\text{Al}]/2.5+[\text{Mn}]/4\geq 3.65 \quad \dots (1')$

[0057] 本发明的无取向性电磁钢板可以在上述成分的基础上还含有Ge。

[0058] Ge:0.0005~0.0100质量%

[0059] Ge是通过在钢板表面、晶界偏析而抑制氧化、氮化从而有助于改善铁损的元素。另外,具有抑制在本发明中规定的条件下的最终退火中的位错密度的降低、提高制品板的拉伸强度的效果。为了得到上述效果,优选含有0.0005质量%以上。优选为0.0008质量%以上。另一方面,大于0.0100质量%而添加时,晶界偏析变得显著,阻碍晶粒生长,或者使铁损劣化,因此在添加的情况下,优选设定为0.0100质量%以下。

[0060] 此外,本发明的无取向性电磁钢板可以在上述成分的基础上还含有选自下述A~H组中的至少一组的成分。

[0061] A组:Zn:0.001~0.010质量%

[0062] Zn是使钢板组织(晶粒)细粒化而有助于高强度化的元素。为了得到上述效果,优选含有0.001质量%以上。另一方面,Zn大于0.010质量%时,氧化物过量地形成,铁损劣化,因此在添加的情况下,优选设定为0.010质量%以下。

[0063] B组:Pb:0.0001~0.0030质量%

[0064] Pb与Zn同样地是使晶粒细粒化而有助于高强度化的元素。为了得到上述效果,优选含有0.0001质量%以上。另一方面,大于0.0030质量%时,阻碍去应力退火中的晶粒生长,使铁损劣化,因此在添加的情况下,优选设定为0.0030质量%以下。

[0065] C组:Ca、Mg和REM中的至少一种:合计为0.0010~0.0080质量%

[0066] Ca、Mg和REM都是将S以硫化物的形式固定而有助于改善铁损的元素。为了得到上述效果,优选将至少一种合计添加0.0010质量%以上。另一方面,大于0.0080质量%而添加时,形成夹杂物而损害制造性,因此上限优选设定为0.0080质量%。更优选是合计为0.0020~0.0050质量%的范围。

[0067] D组:Ti、Nb和V中的至少一种:合计为0.0005~0.0030质量%

[0068] Ti、Nb和V都是对于通过析出强化、晶粒的微细化来提高钢板强度而言有效的元素。为了得到上述效果,优选将至少一种合计添加0.0005质量%以上。另一方面,大于0.0030质量%而添加时,显著阻碍晶粒生长,使铁损劣化,因此上限设定为0.0030质量%。

[0069] E组:Cr、Cu和Ni中的至少一种:合计为0.01~0.40质量%

[0070] Cr、Cu和Ni均具有提高钢板的电阻率、改善铁损的效果。为了得到上述效果,优选将至少一种合计添加0.01质量%以上。但是,过量添加时,生成碳化物而使铁损劣化、或者使表面性状劣化,因此上限优选设定为0.40质量%。更优选是合计为0.03~0.15质量%的范围。

[0071] F组:B:0.0003~0.0040质量%

[0072] B是通过晶粒的细粒化而有助于高强度化的元素。为了得到上述效果,优选添加0.0003质量%以上。另一方面,大于0.0040质量%而添加时,不仅上述效果饱和,而且过量生成硼化物,使铁损伤化,因此上限优选设定为0.0040质量%。

[0073] G组:Co、W和Ta中的至少一种:合计为0.0005~0.0200质量%

[0074] Co、W和Ta都是形成析出物、通过晶粒的微细化、析出物的分散效果而有助于高强度化的元素。为了得到上述效果,优选将至少一种合计添加0.0005质量%以上。另一方面,合计大于0.0200质量%的添加会显著阻碍去应力退火中的晶粒生长,使铁损伤化,因此上限优选设定为0.0200质量%。进一步优选为0.0010~0.0100质量%的范围。

[0075] H组:Ga:0.0005~0.0100质量%和As:0.001~0.010质量%中的至少一种

[0076] Ga和As都是通过通过在钢板表面、晶界偏析而抑制氧化、氮化从而有助于改善铁损的元素。为了得到上述效果,优选含有0.0005质量%以上的Ga、0.001质量%以上的As。优选为Ga:0.0008质量%以上、As:0.002质量%以上。另一方面,Ga大于0.0100质量%、As大于0.010质量%而添加时,晶界偏析变得显著,阻碍晶粒生长,或者使铁损伤化,因此在添加的情况下,优选设定Ga为0.0100质量%以下、As为0.010质量%以下。

[0077] 本发明的无取向性电磁钢板中,上述成分以外的余量为Fe和不可避免的杂质。

[0078] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的制造方法进行说明。

[0079] 本发明的无取向性电磁钢板通过如下方式制造:制造具有上述成分组成的钢原材(钢坯),对该钢坯进行热轧而制成规定板厚的热轧板,接着,对上述热轧板实施热轧板退火,然后进行酸洗,进行一次冷轧或夹着中间退火的两次以上冷轧,制成最终板厚的冷轧板,然后实施最终退火。以下,具体地进行说明。

[0080] 钢原材(钢坯)

[0081] 无取向性电磁钢板的制造中使用的作为钢原材的钢坯的制造方法没有特别限制。例如,使用利用转炉或电炉、真空脱气装置等的通常公知的精炼工艺对具有上述成分组成的钢进行熔炼。接着,将上述熔炼后的钢使用连续铸造法或铸锭-开坯轧制法、薄板坯连铸法等制成钢原材即可。需要说明的是,作为原料,可以使用废铁、直接还原铁。

[0082] 热轧

[0083] 接着,将上述钢坯加热至规定温度,然后进行热轧而制成规定板厚的热轧板。热轧的条件没有特别限制,但钢坯的加热温度优选设定为1000°C以上且1150°C以下的范围。另外,热轧后的卷材卷取温度优选设定为500°C以上且700°C以下的范围。

[0084] 热轧板退火

[0085] 接着,对上述热轧后的钢板(热轧板)实施热轧板退火。该热轧板退火优选以在800~1000°C的温度保持5~300秒的条件来进行。需要说明的是,如果热轧板退火后的钢板组织(晶粒)变得粗大,则在酸洗后的冷轧中,形成变形带、剪切带等应变集中的区域,再结晶被促进,因此位错密度容易降低。因此,热轧板退火的温度优选设定为950°C以下。更优选为920°C以下。

[0086] 酸洗

[0087] 接着,对上述热轧板退火后的热轧板进行常规方法的酸洗而除去氧化皮。上述酸洗只要是能够除去氧化皮至能够进行作为下一工序的冷轧的程度的条件即可,例如可以应

用使用盐酸、硫酸等的常用的酸洗条件。另外,为了促进氧化皮除去,可以在酸洗前或酸洗中追加进行例如通过喷丸、轻轧制等使氧化皮产生龟裂的机械除鳞。

[0088] 冷轧

[0089] 接着,对上述酸洗后的热轧板进行冷轧而制成最终板厚(制品板厚)的冷轧板。该冷轧只要能够制成上述最终板厚,就没有特别限制。另外,冷轧不限于一次,可以根据需要进行夹着中间退火的两次以上冷轧。这种情况的中间退火条件也只要是常用的条件即可,没有特别限制。但是,在上述冷轧中,制成最终板厚的冷轧的压下率过低时,加工硬化变得不充分,最终退火后的强度有可能比所期望的值降低,因此优选设定为50%以上。更优选为70%以上。

[0090] 最终退火

[0091] 接着,对上述制成最终板厚的冷轧板实施最终退火。该最终退火是对冷轧板赋予规定的强度和磁特性的工序,在本发明中是特别重要的工序。为了对冷轧板赋予本发明所期望的强度(拉伸强度:700MPa以上),需要将最终退火的均热温度设定为将钢板中的Si、Al和Mn的含量分别表示为[Si]、[Al]和[Mn]时由下述(2)式定义的温度T以下的温度、并且将在该温度保持的时间(均热时间)设定为60s以下来进行。

[0092] $T=184 \times ([Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4) \dots (2)$

[0093] 在此,由上述(2)式定义的温度T是表示位错密度降低而使拉伸强度降低的软化温度的参数。通过满足上述条件,能够使最终退火后的钢板的拉伸强度为700MPa以上,并且使板厚中心部的位错密度为 $1.2 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上。但是,最终退火的均热温度大于由上述(2)式定义的温度T或者均热时间大于60s时,钢板内的位错密度急速降低,不能得到上述拉伸强度。需要说明的是,上述(2)式中,由Si、Al和Mn的含量求出软化温度的指标,这是因为,在本发明的范围内,只要考虑作为主要添加元素的Si、Al、Mn的添加量就足够。

[0094] 但是,最终退火的均热温度低于500°C时,恢复未充分地进行,拉伸强度大于950MPa,导致冲裁加工性降低,因此均热温度需要设定为500°C以上。优选为600°C以上。出于同样的理由,均热时间也优选设定为5s以上。

[0095] 另外,将最终退火中在500°C以上的温度停留的时间设定为100s以下是重要的。在500°C以上的温度范围内长时间停留时,位错密度过度降低,不能得到所期望的拉伸强度。优选为60s以下。

[0096] 上述最终退火后的钢板根据需要被覆绝缘被膜而制成制品板。

[0097] 接着,对本发明的无取向性电磁钢板的钢板特性进行说明。

[0098] 拉伸强度:700MPa以上且950MPa以下

[0099] 为了确保大型或高速旋转的电动机的转子铁心的充分的耐久性,需要最终退火后的状态下的钢板的拉伸强度为700MPa以上。但是,拉伸强度变得过高时,导致冲裁加工性降低,因此上限设定为950MPa。优选为730~860MPa的范围。

[0100] 板厚中心部的位错密度: $1.2 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上

[0101] 另外,本发明的无取向性电磁钢板需要通过钢的成分组成以及实施与该成分组成对应的条件的最终退火而使钢板的板厚中心部的位错密度为 $2 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上。由此,能够可靠地确保上述的高拉伸强度。优选的位错密度为 $3.0 \times 10^{14} \text{m}^{-2}$ 以上。需要说明的是,上述位错密度可以将钢板的单侧表面通过机械研磨和化学研磨减厚至板厚1/2、对该研磨面(与钢

板表面平行的面)进行X射线衍射并测定峰的半高宽、并使用威廉姆森-霍尔(Williamson-Hall)法求出。

[0102] 去应力退火后的铁损特性

[0103] 本发明的无取向性电磁钢板的特征在于,去应力退火后的铁损特性优良。在此,去应力退火后的铁损特性也受到去应力退火条件的影响。上述去应力退火通常在非氧化性或还原性的气氛中在 $700 \sim 900^{\circ}\text{C} \times 1 \sim 2$ 小时的条件下进行。但是,在如上所述的范围内规定去应力退火条件时,难以评价磁特性。因此,在本发明中,去应力退火后的磁特性的评价以模拟了去应力退火的、 N_2 气氛下 $800^{\circ}\text{C} \times 2$ 小时的热处理后的磁特性来进行评价。需要说明的是,对实际的定子铁心实施的去应力退火条件当然可以与上述条件不同。

[0104] 另外,钢板的铁损值大大依赖于板厚,因此需要对每个板厚设定判断铁损的好坏的基准值。因此,在本发明中,作为上述基准值,在板厚为 0.20mm 的情况下规定为 $W_{10/400}$: 10.3W/kg ,在板厚为 0.25mm 的情况下规定为 $W_{10/400}$: 11.5W/kg ,在板厚为 0.35mm 的情况下规定为 $W_{10/400}$: 14.7W/kg ,在板厚为 0.50mm 的情况下规定为 $W_{10/400}$: 22.5W/kg ,如果是上述基准值以下的铁损,则评价为能够适合用作定子铁心材料。

[0105] 实施例

[0106] 将具有含有表1所示的各种成分且余量由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成的钢利用常规方法的精炼工艺熔炼,然后通过连续铸造法制成钢坯。接着,利用煤气炉将上述钢坯在 1100°C 的温度加热30分钟,然后进行由粗轧和精轧构成的热轧,制成板厚为 1.8mm 的热轧板。然后,对上述热轧板实施 $920^{\circ}\text{C} \times 30\text{s}$ 的热轧板退火,然后进行酸洗、冷轧,制成最终板厚为 0.25mm 的冷轧板,然后在表2所示的条件下实施最终退火,制成制品板。

[0107]

[表1-1]

钢 No.	化 学 成 分 (质量%)													(1)式 左边	温度 T (°C)	备注
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	Mo	Sn	Sb	Ge	其它			
1	0.0026	3.4	0.8	0.012	0.0014	1.4	0.0023	0.0012	0.005	0.04	—	—	—	4.16	765	发明钢
2	0.0014	3.3	1.8	0.008	0.0023	0.6	0.0030	0.0014	0.008	—	0.05	—	—	3.99	734	发明钢
3	0.0023	3.8	0.8	0.018	0.0031	0.7	0.0019	0.0023	0.002	0.02	0.08	—	—	4.28	788	发明钢
4	0.0033	3.5	0.6	0.005	0.0018	1.5	0.0019	0.0020	0.015	0.03	—	—	Ca : 0.0024	4.25	782	发明钢
5	0.0027	3.0	1.4	0.009	0.0033	1.0	0.0024	0.0027	0.004	0.04	—	—	Mg : 0.0032	3.75	690	发明钢
6	0.0018	3.2	0.6	0.011	0.0012	0.9	0.0019	0.0024	0.013	0.02	0.02	—	REM : 0.0039	3.71	683	发明钢
7	0.0022	3.2	1.2	0.014	0.0021	1.2	0.0031	0.0025	0.003	0.04	—	—	Ti : 0.0012	3.98	732	发明钢
8	0.0041	3.2	1.0	0.011	0.0018	2.5	0.0017	0.0024	0.010	—	0.04	—	Nb : 0.0028	4.45	819	发明钢
9	0.0022	3.0	0.6	0.014	0.0028	0.8	0.0019	0.0019	0.010	—	0.03	—	V : 0.0024	3.47	638	发明钢
10	0.0025	3.4	0.3	0.006	0.0025	0.7	0.0008	0.0021	0.020	0.02	0.02	—	Cr : 0.15	3.76	691	发明钢
11	0.0029	3.4	0.2	0.015	0.0016	1.8	0.0020	0.0019	0.050	0.03	—	—	—	4.17	767	发明钢
12	0.0014	3.3	0.5	0.013	0.0029	1.2	0.0022	0.0026	0.009	0.03	0.01	—	Cu : 0.07	3.91	719	发明钢
13	0.0023	3.8	0.6	0.009	0.0022	2.0	0.0022	0.0016	0.030	—	0.05	—	Ni : 0.12	4.75	874	发明钢
14	0.0016	3.2	1.0	0.013	0.0008	0.5	0.0024	0.0017	0.035	0.02	—	—	Cu : 0.08, Ni : 0.06	3.65	672	发明钢
15	0.0047	2.8	0.8	0.013	0.0012	1.5	0.0020	0.0013	0.055	0.05	—	—	B : 0.0011	3.60	662	发明钢
16	0.0026	3.2	0.8	0.012	0.0036	0.8	0.0031	0.0013	0.005	—	0.01	—	—	3.72	684	比较钢
17	0.0021	3.4	0.8	0.012	0.0015	0.3	0.0024	0.0014	0.004	0.04	—	—	—	3.72	684	比较钢
18	0.0031	3.4	0.7	0.008	0.0012	1.4	0.0028	0.0015	—	0.04	—	—	—	4.14	761	比较钢
19	0.0023	3.4	0.6	0.014	0.0007	1.2	0.0021	0.0009	0.005	0.03	—	—	Co : 0.004	4.03	742	发明钢
20	0.0004	3.4	0.5	0.012	0.0011	1.0	0.0009	0.0014	0.006	0.02	0.01	—	W : 0.002	3.93	722	发明钢
21	0.0028	3.2	1.0	0.010	0.0017	1.6	0.0026	0.0006	0.012	0.01	0.02	—	Ta : 0.003	4.09	753	发明钢
22	0.0031	3.2	0.8	0.010	0.0014	1.6	0.0014	0.0026	0.009	0.03	—	—	Co : 0.003, W : 0.001	4.04	743	发明钢
23	0.0019	3.5	0.4	0.008	0.0024	1.0	0.0016	0.0021	0.006	—	0.03	0.0007	—	4.00	736	发明钢
24	0.0008	3.4	0.8	0.013	0.0019	0.8	0.0025	0.0013	0.004	0.04	—	—	Zn : 0.002	3.92	721	发明钢
25	0.0017	3.4	0.3	0.014	0.0021	1.4	0.0023	0.0012	0.013	0.04	—	—	Pb : 0.0003	4.04	742	发明钢
26	0.0026	1.9	0.8	0.012	0.0014	1.4	0.0023	0.0012	0.005	0.04	—	—	—	2.66	489	比较钢
27	0.0023	3.4	0.6	0.01	0.0016	0.8	0.0028	0.0016	0.005	0.04	—	—	Ga : 0.0008	3.87	712	发明钢
28	0.0018	3.2	0.8	0.008	0.0013	1.0	0.0021	0.0012	0.005	0.03	0.02	—	As : 0.003	3.80	699	发明钢

[0108]

[表1-2]

钢 No.	化 学 成 分 (质量%)														(1)式 左边	温度T (°C)	备注
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	Mo	Sn	Sb	Ge	其它				
29	0.0023	3.5	0.8	0.012	0.0021	0.6	0.0022	0.0017	0.008	0.04	—	0.0010	Ca : 0.0026		3.94	725	发明钢
30	0.0022	3.5	0.5	0.016	0.0024	1.2	0.0014	0.0021	0.005	0.04	—	0.0005	Mg : 0.0012		4.11	755	发明钢
31	0.0013	3.4	0.7	0.012	0.0031	1.4	0.0010	0.0013	0.011	0.02	0.01	0.0015	REM : 0.0010		4.14	761	发明钢
32	0.0011	3.6	1.2	0.013	0.0026	0.8	0.0025	0.0012	0.008	0.03	—	0.0008	Ti : 0.0023		4.22	776	发明钢
33	0.0016	3.6	1.5	0.013	0.0017	0.8	0.0024	0.0017	0.007	0.04	—	0.0007	Nb : 0.0005		4.30	790	发明钢
34	0.0008	3.4	0.6	0.006	0.0016	0.8	0.0021	0.0026	0.005	0.06	—	0.0035	V : 0.0020		3.87	712	发明钢
35	0.0031	3.2	0.6	0.006	0.0004	1.2	0.0008	0.0021	0.005	—	0.05	0.0020	Cr : 0.21		3.83	705	发明钢
36	0.0025	3.7	0.8	0.012	0.0006	1.2	0.0011	0.0014	0.008	0.03	—	0.0100	Cu : 0.16		4.38	806	发明钢
37	0.0026	3.8	0.8	0.018	0.0012	0.6	0.0023	0.0016	0.008	0.04	—	0.0006	Ni : 0.08		4.24	780	发明钢
38	0.0031	3.5	0.8	0.013	0.0013	0.6	0.0018	0.0008	0.008	0.04	—	0.0040	Cu : 0.12, Ni : 0.06		3.94	725	发明钢
39	0.0018	3.4	0.5	0.01	0.0018	0.6	0.0017	0.0012	0.005	—	0.03	0.0063	B : 0.0006		3.77	693	发明钢
40	0.0016	3.4	0.5	0.012	0.0009	0.8	0.0024	0.0014	0.003	0.05	—	0.0007	Co : 0.002		3.85	707	发明钢
41	0.0015	3.5	0.6	0.01	0.0008	0.4	0.0024	0.0016	0.004	0.01	0.03	0.0005	W : 0.001		3.81	701	发明钢
42	0.0024	3.5	0.6	0.007	0.0021	0.4	0.0026	0.0021	0.004	0.04	—	0.0016	Ta : 0.004		3.81	701	发明钢
43	0.0023	3.6	0.7	0.006	0.0026	0.6	0.0018	0.0014	0.006	0.02	0.02	0.0021	Zn : 0.005		4.02	739	发明钢
44	0.0027	3.2	0.7	0.014	0.0022	0.8	0.0021	0.0016	0.016	0.03	—	0.0008	Pb : 0.0004		3.70	680	发明钢
45	0.0018	3.4	0.8	0.012	0.0018	1.4	0.0012	0.0017	0.030	0.04	—	0.0006	Ga : 0.0006		4.16	765	发明钢
46	0.0014	3.4	0.8	0.013	0.0017	0.8	0.0013	0.0019	0.020	0.04	—	0.0007	As : 0.002		3.92	721	发明钢
47	0.0013	3.5	0.5	0.008	0.0015	0.8	0.0021	0.0014	0.006	0.01	—	0.0006	Ca : 0.0032, Ti : 0.0018, Cr : 0.02		3.95	726	发明钢
48	0.0014	3.5	0.5	0.009	0.0012	0.8	0.0034	0.0016	0.004	0.01	—	0.0005	Co : 0.003, Cu : 0.25		3.95	726	发明钢
49	0.0022	3.5	0.5	0.012	0.0014	0.8	0.0016	0.0017	0.005	0.04	—	0.0008	Zn : 0.003, Co : 0.002		3.95	726	发明钢
50	0.0018	3.5	0.5	0.015	0.0016	0.8	0.0014	0.0009	0.002	0.04	—	0.0020	Pb : 0.0004, Ni : 0.05		3.95	726	发明钢
51	0.0013	3.5	0.5	0.014	0.0008	0.8	0.0026	0.0012	0.011	0.04	—	0.0013	Pb : 0.0004, B : 0.0005		3.95	726	发明钢
52	0.0017	3.5	0.5	0.007	0.0007	0.8	0.0023	0.0011	0.031	0.01	—	0.0006	Cu : 0.04, Cr : 0.02, B : 0.0003		3.95	726	发明钢
53	0.0016	3.5	0.5	0.014	0.0016	0.8	0.0017	0.0018	0.008	0.01	—	0.0007	Cu : 0.15, Co : 0.004, Ga : 0.010		3.95	726	发明钢
54	0.0013	3.5	0.5	0.013	0.0024	0.8	0.0023	0.0013	0.040	0.01	—	0.0010	Ti : 0.0023, B : 0.0001		3.95	726	发明钢
55	0.0026	3.5	0.5	0.010	0.0034	0.8	0.0009	0.0014	0.012	0.04	—	0.0017	Pb : 0.0005, Mg : 0.0026, As : 0.004		3.95	726	发明钢
56	0.0008	3.5	0.5	0.018	0.0018	0.8	0.0012	0.0017	0.008	0.04	—	0.0011	Zn : 0.003, Pb : 0.0002, Ca : 0.0036, Ti : 0.0016, Cu : 0.06, Cr : 0.02, B : 0.0003, Co : 0.007, Ga : 0.009, As : 0.004		3.95	726	发明钢

[0109]

[表2-1]

钢板 No.	钢 No.	最终退火条件		500℃以上的 停留时间(s)	强度特性		铁损W _{10.400} (W/kg)		备注	
		温度T (℃)	退火温度 (℃)		退火时间 (s)	退火时间 (s)	拉申强度 (MPa)	位错密度 (×10 ¹⁰ m ⁻²)		最终退火后
1	1	765	720	15	40	730	3.5	26.5	10.6	发明例
2	2	734	690	10	30	745	5.5	28.6	10.7	发明例
3	3	788	750	10	30	725	2.8	22.3	10.0	发明例
4	4	782	740	10	35	740	3.2	21.6	10.3	发明例
5	5	690	690	10	35	700	4.0	29.4	11.0	发明例
6	6	683	650	10	35	735	5.3	32.4	10.9	发明例
7	7	732	700	30	90	750	5.2	28.3	10.7	发明例
8	8	819	780	10	30	790	3.9	30.1	11.2	发明例
9	9	638	600	10	25	930	13.3	42.1	11.3	发明例
10	10	691	670	10	30	710	3.8	27.2	10.5	发明例
11	11	767	750	10	30	725	2.5	19.2	10.9	发明例
12	12	719	700	10	30	730	4.3	26.5	10.5	发明例
13	13	874	800	10	30	860	6.1	23.6	10.1	发明例
14	14	672	650	10	30	790	8.9	37.9	10.8	发明例
15	15	662	650	10	30	765	7.8	43.3	11.3	发明例
16	16	684	670	10	30	710	6.2	38.6	12.3	比较例
17	17	684	670	10	30	700	5.5	37.9	11.8	比较例
18	18	761	720	15	40	685	1.0	24.7	11.2	比较例
19	1	765	980	10	30	640	0.9	11.2	11.2	比较例
20	1	765	800	10	30	670	1.1	17.6	11.6	比较例
21	19	742	710	10	30	720	3.2	26.1	10.5	发明例
22	20	722	680	10	30	710	3.2	29.2	10.7	发明例
23	21	753	700	10	30	740	3.8	27.0	10.6	发明例
24	22	743	700	10	30	720	3.0	27.4	10.9	发明例
25	23	736	700	10	30	730	3.1	26.6	10.6	发明例
26	24	721	670	10	30	725	4.1	30.4	10.8	发明例
27	25	742	720	10	30	720	2.8	25.4	10.4	发明例
28	1	765	720	15	110	675	1.0	25.3	11.9	比较例
29	26	489	500	10	30	1080	18.3	54.7	13.4	比较例
30	27	712	690	10	30	720	4.0	28.1	10.4	发明例
31	28	699	680	10	30	715	4.1	29.4	10.6	发明例

[0110]

[表2-2]

钢板 No.	钢 No.	最终退火条件			强度特性		铁损 $W_{10/100}$ (W/kg)		备注	
		温度 T (°C)	退火温度 (°C)	退火时间 (s)	500°C以上的 停留时间(s)	拉伸强度 (MPa)	位错密度 ($\times 10^{14} \text{m}^{-2}$)	最终退火后		去应力退火后
32	29	725	700	10	30	740	4.4	26.8	10.3	发明例
33	30	755	720	10	30	760	4.1	24.6	10.2	发明例
34	31	761	720	10	30	745	3.4	24.6	10.2	发明例
35	32	776	710	10	30	760	4.2	25.4	10.2	发明例
36	33	790	730	10	30	770	4.4	20.9	10.1	发明例
37	34	712	680	10	30	740	4.5	29.2	10.7	发明例
38	35	705	680	10	30	735	4.3	29.5	10.6	发明例
39	36	806	750	10	30	780	4.0	20.8	9.8	发明例
40	37	780	730	10	30	745	3.5	23.0	9.8	发明例
41	38	725	700	10	30	740	4.4	26.8	10.2	发明例
42	39	693	680	10	30	730	4.1	29.3	10.7	发明例
43	40	707	680	10	30	750	5.0	29.2	10.6	发明例
44	41	701	680	10	30	745	4.9	29.1	10.6	发明例
45	42	701	680	10	30	740	5.1	29.1	10.5	发明例
46	43	739	700	10	30	735	3.5	26.7	10.4	发明例
47	44	680	670	10	30	740	4.4	30.6	10.8	发明例
48	45	765	720	10	30	790	5.3	24.6	10.3	发明例
49	46	721	700	10	30	735	4.1	26.9	10.4	发明例
50	47	726	700	10	30	750	4.7	26.9	10.4	发明例
51	48	726	700	10	30	760	5.0	26.9	10.4	发明例
52	49	726	700	10	30	745	4.5	26.9	10.5	发明例
53	50	726	700	10	30	770	5.4	26.9	10.3	发明例
54	51	726	700	10	30	760	5.0	26.9	10.6	发明例
55	52	726	700	10	30	755	4.7	26.9	10.3	发明例
56	53	726	700	10	30	745	4.5	26.9	10.4	发明例
57	54	726	700	10	30	760	5.0	26.9	10.5	发明例
58	55	726	700	10	30	770	5.4	26.9	10.3	发明例
59	56	726	700	10	30	840	8.1	26.9	10.1	发明例

[0111] 接着,从如上得到的制品板上裁取评价用样品,供于以下的评价试验。

[0112] <拉伸试验>

[0113] 从上述样品上裁取使拉伸方向为轧制方向的JIS5号拉伸试验片,根据JIS Z 2241测定拉伸强度TS。

[0114] <位错密度测定>

[0115] 从上述样品上裁取25mm×30mm的试验片,对试验片的单侧表面进行机械研磨和化学研磨,使其减厚至板厚中央部,对该研磨面进行X射线衍射并测定峰的半高宽,利用威廉姆森-霍尔法求出位错密度。

[0116] <磁特性>

[0117] 从上述样品上从L方向(轧制方向)和C方向(与轧制方向成直角的方向)截取宽度:30mm×长度:280mm的试验片,根据JIS C 2550-1测定铁损 $W_{10/400}$ 。进一步实施 N_2 气氛下 $800^{\circ}C \times 2$ 小时的模拟了去应力退火(SRA:Stress Relief Annealing)的热处理,然后通过上述方法测定去应力退火后的铁损 $W_{10/400}$ 。

[0118] 将上述评价试验的结果一并记载于表2中。由该结果可知,在符合本发明的条件下制造的发明例的钢板均位错密度为 $1.2 \times 10^{14} m^{-2}$ 以上、拉伸强度为700MPa以上、并且SRA后的铁损值也比基准值($W_{10/400}$:11.5W/kg)低、磁特性优良。需要说明的是,对于No.28的钢板而言,由(2)式定义的温度T为 $489^{\circ}C$,低于 $500^{\circ}C$,因此,成为拉伸强度在本发明的范围外、铁损也差的比较例。