



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119452108 A

(43) 申请公布日 2025. 02. 14

(21) 申请号 202380048723.6

(22) 申请日 2023.06.09

(30) 优先权数据

10-2022-0076986 2022.06.23 KR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.12.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2023/007914 2023.06.09

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/249295 K0 2023.12.28

(71) 申请人 现代制铁株式会社

地址 韩国仁川广域市

(72) 发明人 赵汉嫻 姜春求

(74) 专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司 11314

专利代理师 程伟 李兵霞

(51) Int.Cl.

G21D 8/12 (2006.01)

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/00 (2006.01)

G22C 38/14 (2006.01)

G21D 9/46 (2006.01)

B21C 47/02 (2006.01)

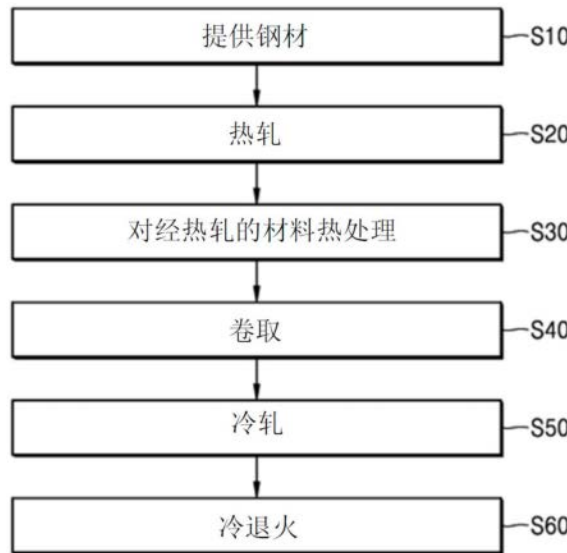
权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

无取向电工钢板及其制造方法

(57) 摘要

根据本发明的一个实施方案的用于制造无取向电工钢板的方法包括以下步骤:提供包含硅(Si)、锰(Mn)和铝(Al)的钢材;对钢材进行热轧;在卷绕之前,对经热轧的钢材进行第一热处理;卷绕经第一热处理的钢材;对经卷绕的钢材进行开卷和冷轧;以及对经冷轧的钢材进行退火。



1. 一种制造无取向电工钢板的方法,所述方法包括:

提供包含硅(Si)、锰(Mn)和铝(Al)的钢材;

对钢材进行热轧;

在卷取之前,对经热轧的钢材进行第一热处理;

对经第一热处理的钢材进行卷取;

对经卷取的钢材进行开卷和冷轧;以及

对经冷轧的钢材进行冷退火。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述钢材包含:2.0重量%至4.0重量%的Si、0.1重量%至0.5重量%的Mn、0.3重量%至0.9重量%的Al、大于0重量%且不超过0.003重量%的碳(C)、大于0重量%且不超过0.015重量%的磷(P)、大于0重量%且不超过0.003重量%的硫(S)、大于0重量%且不超过0.003重量%的氮(N)、大于0重量%且不超过0.003重量%的钛(Ti),以及余量的铁(Fe)和不可避免的杂质。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,在将经热轧的钢材冷却至室温之前,在高于卷取温度的温度下进行第一热处理。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,在1110°C至1150°C的板坯再加热温度(SRT)和860°C至900°C的精轧出口温度(FDT)下进行热轧,

所述第一热处理包括保持850°C至1000°C的温度5分钟至10分钟,在550°C至650°C的温度下进行卷取。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述冷退火包括在20°C/s或更大的加热速率、900°C至1100°C的退火开始温度和30秒至120秒的保持时间的条件下进行退火,以及在30°C/s或更大的冷却速率的条件下进行冷却。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中,在将钢材卷取之后,在不进行初步退火的情况下进行冷轧。

7. 一种无取向电工钢板,其包含:2.0重量%至4.0重量%的硅(Si)、0.1重量%至0.5重量%的锰(Mn)、0.3重量%至0.9重量%的铝(Al)、大于0重量%且不超过0.003重量%的碳(C)、大于0重量%且不超过0.015重量%的磷(P)、大于0重量%且不超过0.003重量%的硫(S)、大于0重量%且不超过0.003重量%的氮(N)、大于0重量%且不超过0.003重量%的钛(Ti),以及余量的铁(Fe)和不可避免的杂质,

其中,在构成最终微观结构的夹杂物中,平均直径为5 μ m或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为2 μ m或更小的夹杂物的面积份数之比大于0.3,

所述无取向电工钢板具有12.5W/kg或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和1.66T或更大的磁通密度(B_{50})。

无取向电工钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种无取向电工钢板及其制造方法,更具体地,涉及一种高效的无取向电工钢板及其制造方法。

背景技术

[0002] 电工钢板根据其磁性能可以分为取向电工钢板和无取向电工钢板。取向电工钢板表现出优异的特别是在钢板的轧制方向上的磁性能(因为它们被制造成易于沿轧制方向磁化),因此大多用作要求低芯损耗和高磁导率的大型、中型和小型变压器的芯体。另一方面,无取向电工钢板无论钢板的的方向如何都具有均匀的磁性能,因此通常用作小型电机、小型电力变压器、稳定器等的芯体材料。相关文献包括韩国专利公布No.2015-0001467A。

发明内容

[0003] 技术问题

[0004] 本发明提供一种高效的无取向电工钢板及其制造方法。

[0005] 然而,以上描述是示例,本发明的范围不限于此。

[0006] 技术方案

[0007] 根据本发明的一个方面,提供了一种制造无取向电工钢板的方法,所述方法包括:提供包含硅(Si)、锰(Mn)和铝(Al)的钢材;对钢材进行热轧;在卷取前对经热轧的钢材进行第一热处理;对经第一热处理的钢材进行卷取;对经卷取的钢材进行开卷和冷轧;以及对经冷轧的钢材进行冷退火。

[0008] 钢材可以包含:2.0重量%至4.0重量%的Si、0.1重量%至0.5重量%的Mn、0.3重量%至0.9重量%的Al、大于0重量%且不超过0.003重量%的碳(C)、大于0重量%且不超过0.015重量%的磷(P)、大于0重量%且不超过0.003重量%的硫(S)、大于0重量%且不超过0.003重量%的氮(N)、大于0重量%且不超过0.003重量%的钛(Ti),以及余量的铁(Fe)和不可避免的杂质。

[0009] 在将经热轧的钢材冷却至室温之前,可以在高于卷取温度的温度下进行第一热处理。

[0010] 热轧可以在1110°C至1150°C的板坯再加热温度(SRT)和860°C至900°C的精轧出口温度(FDT)下进行,第一热处理可以包括保持850°C至1000°C的温度5分钟至10分钟,卷取可以在550°C至650°C的温度下进行。

[0011] 冷退火可以包括在20°C/s或更大的加热速率、900°C至1100°C的退火开始温度和30秒至120秒的保持时间的条件下进行退火,以及在30°C/s或更大的冷却速率的条件下进行冷却。

[0012] 在将钢材卷取之后,可以在不进行初步退火的情况下进行冷轧。

[0013] 根据本发明的另一个方面,提供了一种无取向电工钢板,所述无取向电工钢板包含2.0重量%至4.0重量%的硅(Si)、0.1重量%至0.5重量%的锰(Mn)、0.3重量%至0.9重

量%的铝(A1)、大于0重量%且不超过0.003重量%的碳(C)、大于0重量%且不超过0.015重量%的磷(P)、大于0重量%且不超过0.003重量%的硫(S)、大于0重量%且不超过0.003重量%的氮(N)、大于0重量%且不超过0.003重量%的钛(Ti)、以及余量的铁(Fe)和不可避免的杂质,其中,在构成最终微观结构的夹杂物中平均直径为 $5\mu\text{m}$ 或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为 $2\mu\text{m}$ 或更小的夹杂物的面积份数之比大于0.3,并且所述无取向电工钢板具有 12.5W/kg 或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和 1.66T 或更大的磁通密度(B_{50})。

[0014] 有利效果

[0015] 根据本发明的实施方案,可以提供一种高效的无取向电工钢板及其制造方法。

[0016] 然而,本发明的范围不限于上述效果。

附图说明

[0017] 图1为根据本发明实施方案的制造无取向电工钢板的方法的流程图。

[0018] 图2为根据本发明的比较例的制造无取向电工钢板的方法的流程图。

[0019] 图3为测试实施例1的样品中平均直径为 $2\mu\text{m}$ 或更小的夹杂物的显微图像。

[0020] 图4为测试实施例5的样品中平均直径为 $5\mu\text{m}$ 或更大的夹杂物的显微图像。

具体实施方式

[0021] 现在将详细描述根据本发明实施方案的制造无取向电工钢板的方法。在本文使用的术语是根据其在本发明中的功能而适当选择的,这些术语的定义应以本说明书的全部内容为基础。

[0022] 电工钢板一般分为取向电工钢板和无取向电工钢板。取向电工钢板大多用于诸如变压器的固定机械,无取向电工钢板常用于诸如电机的旋转机械。电工钢板的性能可以基于磁通密度和芯损耗来评估。磁通密度大多以 B_{50} 评估,芯损耗一般以 $W_{15/50}$ 评估,但如在电动车辆中需要高频特性时,芯损耗以 $W_{10/400}$ 评估。 B_{50} 表示在 5000A/m 时的磁通密度, $W_{15/50}$ 表示在 50Hz 和 1.5T 时的芯损耗, $W_{10/400}$ 表示在 400Hz 和 1.0T 时的芯损耗。

[0023] 由于旨在减少 CO_2 排放以应对全球变暖的法规,现有的内燃机车辆正在迅速被环保车辆(例如混合动力电动车辆(HEV)和电动车辆(EV))取代,更具体地被电动车辆取代。随着对于电动车辆需求的增加,电动车辆驱动电机的能量转换效率不断提高,因此需要电机芯体材料具有优异的磁性能。用作电机芯体材料的无取向电工钢板在旋转机械中用于将电能转化为机械能,而磁性能(即低芯损耗和高磁通密度)对于节能至关重要。特别地,需要在高频(例如 400Hz)下具有低芯损耗的无取向电工钢板,以提高在能量损耗高的高速运行期间的电机效率。为了满足这些要求,正在开发无取向电工钢板产品,通过添加诸如硅(Si)、锰(Mn)和铝(A1)的元素来增加电阻率或减少材料厚度。然而,当诸如Si、Mn和A1的合金元素增加时,轧制过程可能无法适当地进行,从而导致冷轧恢复率降低并导致难以使厚度减少,并且当使电工钢板的厚度减少时,需要先进的生产技术,生产成本增加,生产率下降。

[0024] 图1为根据本发明实施方案的制造无取向电工钢板的方法的流程图。

[0025] 参照图1,根据本发明实施方案的无取向电工钢板的制造方法包括:提供包含硅(Si)、锰(Mn)和铝(A1)的钢材(S10);对钢材进行热轧(S20);在卷取前对经热轧的钢材进行第一热处理(S30);对经第一热处理的钢材进行卷取(S40);对经卷取的钢材进行开卷和冷

轧(S50);以及对经冷轧的钢材进行冷退火(S60)。

[0026] 提供钢材(S10)

[0027] 提供给热轧过程的钢材为用于制造无取向电工钢板的钢材,并且例如包含2.0重量%至4.0重量%的Si、0.1重量%至0.5重量%的Mn、0.3重量%至0.9重量%的Al、大于0重量%且不超过0.003重量%的碳(C)、大于0重量%且不超过0.015重量%的磷(P)、大于0重量%且不超过0.003重量%的硫(S)、大于0重量%且不超过0.003重量%的氮(N)、大于0重量%且不超过0.003重量%的钛(Ti),以及余量的铁(Fe)和不可避免的杂质。

[0028] 现在将描述根据本发明技术特征的无取向电工钢板制造方法所适用的示例组分的功能和含量。然而,根据本发明技术特征的无取向电工钢板制造方法不限于如下的示例组成,并且可以扩展到能够实现无取向电工钢板的功能的任意组成。

[0029] Si:2.0重量%至4.0重量%

[0030] Si是作为提高电阻率和降低芯损耗(或涡流损耗)的组分而添加的主要元素。当Si的含量小于2.0重量%时,不容易实现高频下所需的低芯损耗值,而当含量增加时,磁导率和磁通密度降低。当Si的含量大于4.0重量%时,脆性增加,使得冷轧变得困难并降低生产率。

[0031] Mn:0.1重量%至0.5重量%

[0032] Mn与Si一起增加电阻率并改善织构。当Mn添加超过0.5重量%时,形成粗大的MnS析出物,从而使磁性能变差,例如磁通密度降低。此外,当Mn的含量大于0.5重量%时,与添加量相比,芯损耗的降低是小的,并且冷轧制性显著变差。因为当Mn的含量小于0.1重量%时可能形成细小的MnS析出物并且可能抑制晶粒生长,所以可以将Mn的组成控制为0.1重量%至0.5重量%。

[0033] Al:0.3重量%至0.9重量%

[0034] Al是与Si一起作为用于提高电阻率并降低芯损耗(或涡流损耗)的组分而添加的主要元素。Al用于通过降低磁各向异性来降低磁偏差。Al与N结合时诱导AlN析出。当Al的含量小于0.3重量%时,可能不容易预期上述效果,并且可能形成细小的氮化物从而增加磁性能的偏差,并且当Al的含量大于0.9重量%时,冷轧制性变差,氮化物形成过多,使得磁通密度降低以及磁性能变差。

[0035] C:大于0重量%且不超过0.003重量%

[0036] C是形成诸如TiC和NbC的碳化物而使芯损耗增大的元素,从而越少越好。C的含量限制为0.003重量%或更少。当C的含量大于0.003重量%时,发生磁老化而使磁性能变差,而当C的含量为0.003重量%或更小时,磁老化受到抑制。

[0037] P:大于0重量%且不超过0.015重量%

[0038] P是晶界偏析元素,并且是用于形成织构的元素。当P的含量大于0.015重量%时,晶粒生长受到抑制,磁性能变差,并且由于偏析效应而导致冷轧制性降低。

[0039] S:大于0重量%且不超过0.003重量%

[0040] S形成诸如MnS和CuS的析出物而使芯损耗增大,并抑制晶粒生长,因此越少越好。S的含量限制为0.003重量%或更少。当S的含量大于0.003重量%时,芯损耗增加。

[0041] N:大于0重量%且不超过0.003重量%

[0042] N形成诸如AlN、TiN和NbN的析出物而使芯损耗增大,并抑制晶粒生长,因此越少越

好。N的含量限制为0.003重量%或更少。当N的含量大于0.003重量%时,芯损耗增加。

[0043] Ti:大于0重量%且不超过0.003重量%

[0044] Ti形成诸如TiC和TiN的细小析出物,并抑制晶粒生长。Ti使磁性能变差,因此越少越好。Ti的含量限制为0.003重量%或更少。当Ti的含量大于0.003重量%时,磁性能变差。

[0045] 热轧(S20)

[0046] 对具有上述组成的钢材进行热轧。可以在1000°C至1200°C(更严格地,1110°C至1150°C)的板坯再加热温度(SRT)和860°C至900°C的精轧出口温度(FDT)的条件下对钢材进行热轧(S20)。

[0047] 当SRT高于1200°C(更严格地,1150°C)时,板坯中诸如C、S、N的析出物可能会再溶解,在后续的轧制和退火过程中可能会出现细小的析出物,从而抑制晶粒生长并使磁性能变差。当SRT低于1000°C(更严格地,1110°C)时,轧制载荷可能增加并且最终产品可能具有高的芯损耗。

[0048] 对钢材进行热轧(S20)之后,经热轧的板材的厚度可以例如为1.8mm至2.6mm。由于当经热轧的板材很厚时冷轧压下率会增加并且织构变差,因此厚度可控制为2.6mm或更薄。

[0049] 第一热处理(S30)

[0050] 在卷取之前,可以对经热轧的钢材进行第一热处理(S30)。在经热轧的钢材冷却至室温之前,可以连续进行第一热处理(S30)。在第一热处理之后,可将钢材冷却至室温。第一热处理可以为退火。第一热处理(S30)可以在比后续卷取(S40)的温度高的温度下进行。例如,当卷取温度为550°C至650°C时,第一热处理(S30)可以包括保持850°C至1000°C的温度5分钟至10分钟。当第一热处理温度低于850°C时,表层会形成诸如氮化物的细小夹杂物,由于夹杂物生长不足,最终产品的磁性能会变差。另一方面,当第一热处理温度高于1000°C时,会形成夹杂物并且晶粒过度生长,导致晶粒尺寸严重偏差,并发生严重氧化,对最终产品产生负面影响。因此,为使经热轧的板材获得均匀的微观结构,可将第一热处理温度控制为850°C至1000°C。

[0051] 卷取(S40)

[0052] 可以在550°C至650°C的卷取温度(CT)的条件下对经第一热处理的钢材进行卷取。当CT低于550°C时,钢材不会产生退火效应,因此晶粒不会生长;当CT高于650°C时,冷却过程中可能会加剧氧化,因此酸洗性可能会变差。

[0053] 冷轧(S50)

[0054] 对经卷取的钢材进行开卷和冷轧(S50)。冷轧压下率可以为80%至85%,经冷轧的钢材的厚度可以为0.35mm或更薄(更严格地,0.25mm或更薄)。为了提供可轧制性,可以将板材温度提高到150°C至200°C进行温轧。

[0055] 一般情况下,在热轧和卷取之后并且在冷轧之前,可以对经热轧的板材进行初步退火(例如,退火和酸洗线(APL))。例如,初步退火可以包括在20°C/s或更大的加热速率、950°C至1100°C的退火温度和30秒至120秒的保持时间的条件下进行退火,在30°C/s或更大的冷却速率的条件下进行冷却,然后进行酸洗。

[0056] 然而,在本发明中,发现由于经热轧的钢材在卷取前如上述经过第一热处理,因此在使用酸洗溶液去除表面上形成的氧化层之后,可以直接进行冷轧,而无需进行初步退火。

[0057] 冷退火(S60)

[0058] 可以对经冷轧的钢材进行冷退火。冷退火(S60)可以包括:在20°C/s或更大的加热速率、900°C至1100°C的退火温度和30秒至120秒的保持时间的条件下进行退火,以及在30°C/s或更大的冷却速率的条件下进行冷却。在冷退火中,当退火温度低于900°C时,可能会形成细小晶粒,从而增加磁滞损耗,而当退火温度高于1100°C时,可能会形成粗大晶粒,从而增加涡流损耗。

[0059] 对冷轧后获得的经冷轧的板材进行冷退火。考虑到芯损耗减少以及机械性能,采用了能达到最佳晶粒尺寸的温度。在冷退火中,在混合气氛条件下进行加热,以防止表面氧化和硝化。在氮气和氢气的混合气氛中使表面进一步平滑化。当冷退火温度低于900°C时,可能会形成细小晶粒,从而增加磁滞损耗,而当冷退火温度高于1100°C时,可能会形成粗大晶粒,从而增加涡流损耗。

[0060] 同时,在最终冷退火之后可以进行涂覆过程,以形成绝缘涂层。通过形成绝缘涂层,可以提高可冲压性并且可以确保绝缘性。在经冷轧的材料上面和下面形成的绝缘涂层可以具有约1 μ m至2 μ m的厚度。

[0061] 使用上述方法制造的无取向电工钢板可以是包含以下组分的无取向电工钢板:2.0重量%至4.0重量%的Si、0.1重量%至0.5重量%的Mn、0.3重量%至0.9重量%的Al、大于0重量%且不超过0.003重量%的C、大于0重量%且不超过0.015重量%的P、大于0重量%且不超过0.003重量%的S、大于0重量%且不超过0.003重量%的N、大于0重量%且不超过0.003重量%的Ti、以及余量的Fe和不可避免的杂质,其中,平均晶粒尺寸为80 μ m至150 μ m,在构成最终微观结构的夹杂物中平均直径为5 μ m或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为2 μ m或更小的夹杂物的面积份数之比大于0.3。无取向电工钢板可以具有12.5W/kg或更小的芯损耗($W_{10/400}$)、1.66T或更大的磁通密度(B_{50})、400MPa或更大的屈服强度和500MPa或更大的拉伸强度。

[0062] 本发明提供了一种无取向电工钢板及其制造方法,所述无取向电工钢板能够在可大规模生产的工艺条件的基础上通过控制经热退火的材料的微观结构来实现高磁通密度和低芯损耗。

[0063] 参照图2,根据本发明的比较例的一种制造无取向电工钢板的方法通常包括:通过对板坯进行再加热然后进行热轧来生产经热轧的板材(S10、S20和S40);对经热轧的板材进行初步退火(例如,APL)(S45);通过对经热退火的材料进行冷轧来生产经冷轧的板材(S50);以及对经冷轧的板材进行最终退火(例如,退火和涂覆线(ACL))(S60)。APL过程对于高合金无取向电工钢板至关重要。通过APL过程,赋予冷轧制性,并增强最终产品的磁性能。由于最终产品的磁性品质受到APL过程的严重影响,因此精确的结构控制至关重要。当没有通过热处理来控制细小析出物和夹杂物的尺寸时,畴壁运动可能会因细小析出物和夹杂物而延迟,导致磁性能变差。

[0064] 在根据本发明实施方案的制造无取向电工钢板的方法中,在对无取向电工钢板进行热轧之后,在将经热轧的材料冷却至低于卷取温度的温度之前连续进行第一热处理(S30)。在这种情况下,第一热处理可以包括保持850°C至1000°C的温度5分钟至10分钟。由于进行了第一热处理,因此可以省略APL并可以制造出性能更好的电工钢板。

[0065] 在本发明中,发现通过应用上述热处理,可以确保在构成最终退火材料的夹杂物中平均直径为5 μ m或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为2 μ m或更小的夹杂物的面积份

数之比大于0.3的微观结构,在这种情况下,可以同时实现12.5W/kg或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和1.66T或更大的磁通密度(B_{50})。使用扫描电子显微镜(SEM)的背散射电子探测器(BSD)模式,根据亮度和对比度分析了最终退火材料的层状结构的 $10 \times 10\text{mm}^2$ 横截面上所有尺寸的夹杂物的分布。

[0066] 使用本发明的无取向电工钢板制造方法制得的最终产品具有均匀的微观结构和改善的磁性能。在这种情况下,可以实现12.5W/kg或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和1.65T或更高的磁通密度,更具体地是12.0W/kg或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和1.66T或更高的磁通密度。

[0067] 如上所述,为了降低无取向电工钢板的芯损耗,需要减小板材厚度和提高电阻率。然而,减小板材厚度需要先进的生产技术,会降低加工过程中的生产率,并增加电机芯体生产中的加工和层压成本。此外,虽然添加诸如Si、Al和Mn的高合金元素以提高电阻率,但添加这些合金元素会使冷轧复杂化。用于高效电动车辆的无取向电工钢板需要实现高磁通密度和低芯损耗,需要优化的合金组成和先进的加工技术来提高电阻率。

[0068] 在合金组成方面,Si、Al和Mn是用来增加电阻率的主要合金元素。除了这些元素的组合外,还考虑了能够改善冷轧制性的元素,例如Cr、Cu和Ni。然而,这些元素会改变磁性能和机械性能,因此可能不容易找到最佳条件。

[0069] 就无取向电工钢板的制造工艺而言,已知的是,要在含有大于3%Si的无取向电工钢板的最终产品中实现高磁通密度和低芯损耗,APL是必不可少的。虽然通过控制加热速率可以改善织构,但由于微观结构不均匀会导致磁性能变差,因此从APL这一中间过程开始,对经热轧的结构进行微观结构控制是必不可少的。

[0070] 考虑到上述情况,在本发明中,对经热轧的材料在热轧之后并且在冷却至室温之前进行热处理。由于对经热轧的材料的热处理,可以在经热轧的材料中诱导再结晶/晶粒生长,因此可以在不进行APL的情况下进行冷轧。因此,可以简化工艺,可以提高生产率,并且可以制得高品质的无取向电工钢板。

[0071] 测试实施例

[0072] 现在将描述测试实施例以便更好地理解本发明。然而,以下测试实施例仅用于促进对本发明的理解,并且本发明不限于此。

[0073] 1. 样品的组成

[0074] 本测试实施例提供的样品具有表1的合金元素组成(单位:重量%)。

[0075] [表1]

[0076]

Si	Mn	Al	C	P	S	N	Ti	Fe
3.35	0.32	0.73	0.0025	0.0052	0.0014	0.0018	0.0011	余量

[0077] 参照表1,根据测试实施例的无取向电工钢板的组成满足Si:2.0重量%至4.0重量%,Mn:0.1重量%至0.5重量%,Al:0.3重量%至0.9重量%,C:大于0重量%且不超过0.003重量%,P:大于0重量%且不超过0.015重量%,S:大于0重量%且不超过0.003重量%,N:大于0重量%且不超过0.003重量%,Ti:大于0重量%且不超过0.003重量%,以及余量的Fe。通过将具有上述组成的板坯再加热到1150°C并且在890°C的FDT的条件下进行热轧,来生产厚度为2.0mm的经热轧的板材。热轧之后,在不同的温度条件下连续进行热处理。然后,通过进行冷轧来生产厚度为0.25t的经冷轧的板材,在980°C下将最终退火进行40秒。然后通过涂覆过程来制得最终产品。最终退火是在30%氢气-70%氮气的混合气氛中进行。

在这种情况下,使用20°C/s的加热速率和30°C/s的冷却速率。

[0078] 2. 工艺条件及性能评价

[0079] 表2示出了本测试实施例的工艺条件、芯损耗 ($W_{10/400}$) 和磁通密度 (B_{50})。图3为测试实施例1的样品中平均直径为2 μm 或更小的夹杂物的显微图像,图4为测试实施例5的样品中平均直径为5 μm 或更大的夹杂物的显微图像。

[0080] 在表2的热处理方法中,第一热处理对应于上述与图1有关的根据本发明实施方案的热处理(S30),APL对应于上述与图2有关的根据本发明实施方案的初步退火(S45)。亦即,APL是指在热轧之后并且在冷轧之前进行的初步退火,初步退火包括:在20°C/s或更大的加热速率、950°C至1100°C的退火温度和30秒至120秒的保持时间的条件下进行退火,以及在30°C/s或更大的冷却速率的条件下进行冷却。

[0081] 表2中与夹杂物相关的条目显示了在最终退火材料中夹杂物的分布,并示出了平均直径为2 μm 或更小的夹杂物的面积份数(面积%) 和平均直径为5 μm 或更大的夹杂物的面积份数(面积%) 以及这两者之比。最终产品的磁性能是通过使用单片测试仪(SST)测量并将L和C方向的芯损耗和磁通密度值平均化来确定的。

[0082] [表2]

	热处理方法	退火温度 (°C)	退火时间 (分钟)	A: 夹杂物 \leq 2 μm (面积 %)	B: 夹杂物 \geq 5 μm (面积 %)	B/A	$W_{10/400}$	B_{50}	
[0083]	测试实施例 1	第一热处理	700	5	71.2	9.1	0.13	14.1	1.63
	测试实施例 2	第一热处理	700	10	76.5	11.7	0.15	14.3	1.64
	测试实施例 3	第一热处理	750	5	62.8	13.5	0.21	14	1.64
	测试实施例 4	第一热处理	800	5	53.9	14.1	0.26	13.2	1.65
	测试实施例 5	第一热处理	850	5	51.7	16.9	0.33	12.2	1.68
	测试实施例 6	第一热处理	900	5	47.3	23.3	0.49	12.3	1.67
	测试实施例 7	第一热处理	950	5	44.8	25.9	0.58	11.8	1.68
	测试实施例 8	第一热处理	950	10	49.7	27.1	0.55	11.7	1.68
	测试实施例 9	第一热处理	975	5	47.1	25.9	0.55	12	1.67
	测试实施例 10	第一热处理	1000	5	41.1	19.1	0.46	11.9	1.68
	测试实施例 11	APL	900	2	58.8	12.8	0.22	13.7	1.65
	测试实施例 12	APL	950	2	62.7	15.2	0.24	13.2	1.65
	测试实施例 13	APL	1000	2	61.4	17.3	0.28	12.9	1.66

[0084] 参照表2,在测试实施例1、2、3和4中,进行了上述与图1有关的经热轧的材料的热处理(S30),但热处理温度低于850°C至1000°C。在这种情况下,显示了在构成最终微观结构的夹杂物中平均直径为5 μm 或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为2 μm 或更小的夹杂物的面积份数之比小于0.3,并且未实现12.5W/kg或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和1.66T或更大的磁通密度(B_{50})。亦即,由于当经热轧的材料的热处理温度较低时平均直径为2 μm 或更小的夹杂物会增加,因此不符合平均直径为5 μm 或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为2 μm 或更小的夹杂物的面积份数之比需要大于0.3的要求,并且不符合芯损耗($W_{10/400}$)为12.5W/kg或更小和磁通密度(B_{50})为1.66T或更大的要求。

[0085] 在测试实施例11、12和13中,进行了上述与图2有关的初步退火(S45)而没进行上

述与图1有关的经热轧的材料的热处理(S30)。在这种情况下,显示了在构成最终微观结构的夹杂物中平均直径为 $5\mu\text{m}$ 或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为 $2\mu\text{m}$ 或更小的夹杂物的面积份数之比小于0.3,并且未实现 12.5W/kg 或更小的芯损耗($W_{10/400}$)。

[0086] 另一方面,在测试实施例5、6、7、8、9和10中,进行了上述与图1有关的经热轧的材料的热处理(S30),并且满足 850°C 至 1000°C 的热处理温度和5分钟至10分钟的热处理时间。在这种情况下,显示了在构成最终微观结构的夹杂物中平均直径为 $5\mu\text{m}$ 或更大的夹杂物的面积份数与平均直径为 $2\mu\text{m}$ 或更小的夹杂物的面积份数之比大于0.3,并且实现了 12.5W/kg 或更小的芯损耗($W_{10/400}$)和 1.66T 或更大的磁通密度(B_{50})。

[0087] 本发明的上述测试实施例表明,通过在热轧之后并且在冷却至室温之前对经热轧的材料进行热处理,可以在经热轧的材料中诱导再结晶/晶粒生长,因此可以在没有APL的情况下进行冷轧。

[0088] 尽管已经参照本发明的实施方案具体地示出和描述了本发明,但是本领域普通技术人员将理解,在不脱离由所附权利要求所限定的本发明范围的情况下,可以对形式和细节进行各种改变。

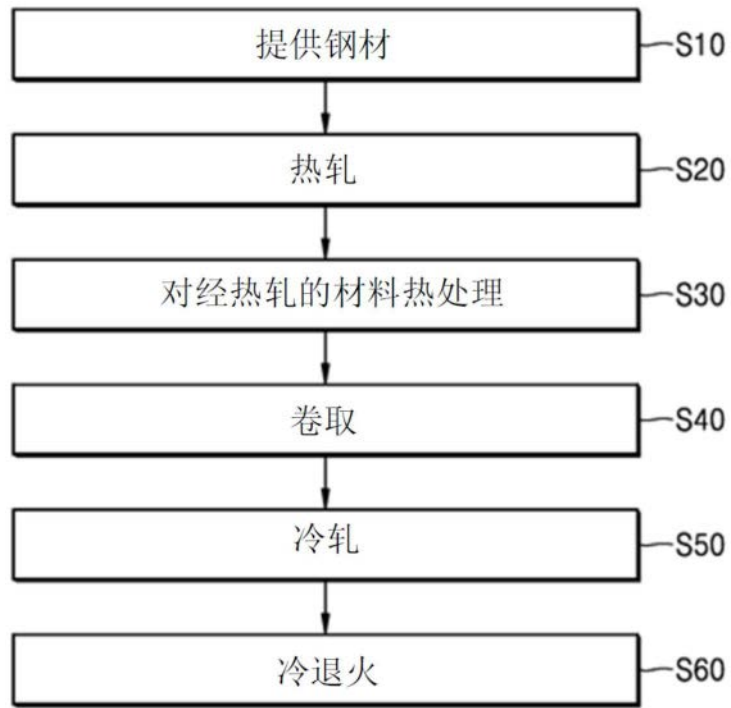


图1

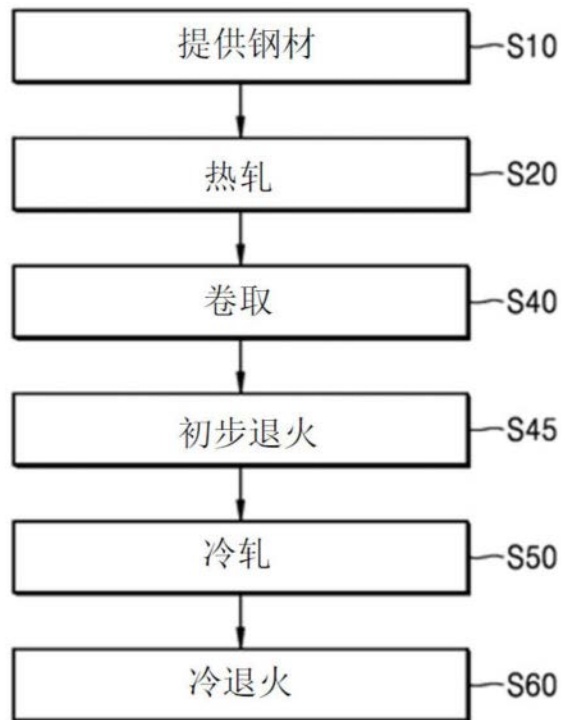


图2

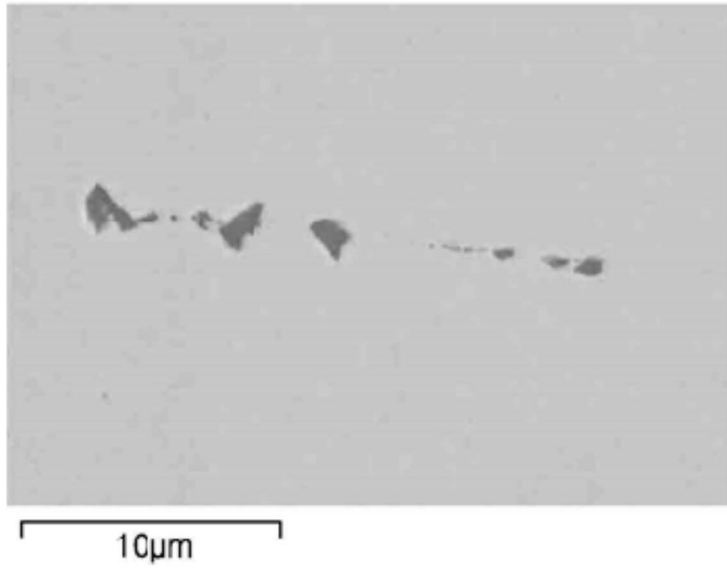


图3

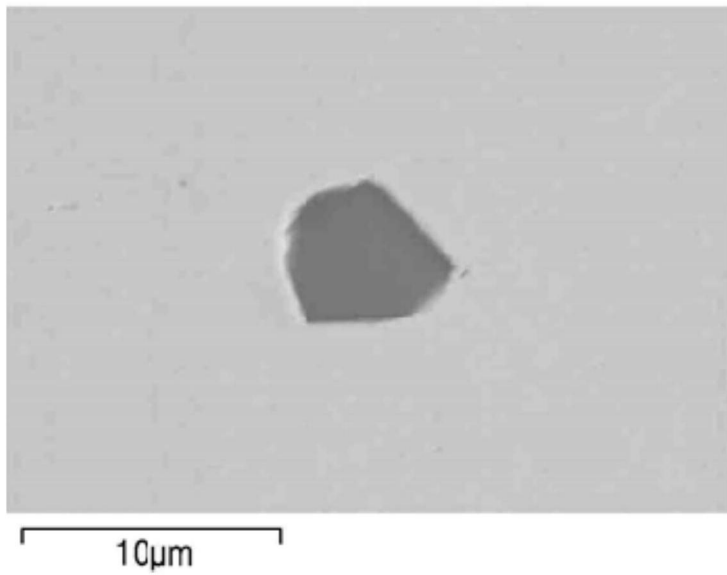


图4