(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118318053 A
(43)申请公布日 2024.07.09

(21)申请号 202280074693.1
(22)申请日 2022.11.10
(30)优先权数据
2021-191375 2021.11.25 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.05.09
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/041981 2022.11.10
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/095637 JA 2023.06.01
(71)申请人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本
(72)发明人 末广龙一 大久保智幸 植野雅康 山口慎也 丸山茂宏
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 王洋
(51)Int.Cl.
C21D 8/12(2006.01)
C22C 38/00(2006.01)
C22C 38/06(2006.01)
C22C 38/60(2006.01)
H01F 1/147(2006.01)

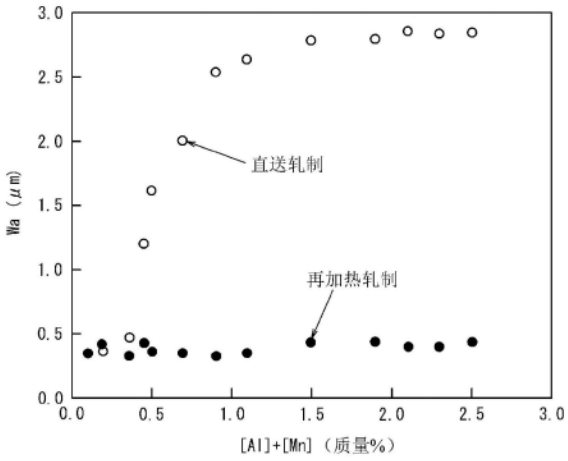
权利要求书1页 说明书20页 附图3页

(54)发明名称

无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法和无取向性电磁钢板的制造方法

(57)摘要

本发明在使用薄板坯的工艺中,抑制对包含大量Si、Al、Mn合金元素的钢进行处理时起皱的问题。一种无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,包括以下工序:连续铸造工序,通过连续铸造法制造具有规定的成分组成且厚度为50mm～200mm的钢坯;输送工序,在将上述钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送到炉中;保温工序,在上述炉中将上述钢坯在保温温度1100℃～1300℃、保温时间60秒以上的条件下进行保温;热轧工序,对上述钢坯依次实施粗轧、再加热处理和精轧,制成热轧钢板;并且,上述热轧工序在满足下述(1)和(2)的条件下进行。(1)上述粗轧的总压下率:80%以上(2)上述精轧的总压下率:80%以上。



CN 118318053 A

1.一种无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,包括以下工序:

连续铸造工序,通过连续铸造法制造具有以下成分组成且厚度为50mm～200mm的钢坯,所述成分组成以质量%计含有Si:2.0%～5.0%、Al:3.0%以下以及Mn:3.0%以下,Al和Mn的合计含量为0.40%以上,

输送工序,在将所述钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送到炉中,

保温工序,在所述炉中将所述钢坯在保温温度1100℃～1300℃、保温时间60秒以上的条件下进行保温,

热轧工序,对所述钢坯依次实施粗轧、再加热处理和精轧,制成热轧钢板,

所述热轧工序在满足下述(1)和(2)的条件下进行,

(1)所述粗轧的总压下率:80%以上,

(2)所述精轧的总压下率:80%以上。

2.根据权利要求1所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,将所述精轧中的出口侧板厚设为0.4mm～2.0mm。

3.根据权利要求1或2所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,所述热轧工序在满足下述(1')和(2')中的至少一个的条件下进行,

(1')所述粗轧的总压下率:88%以上,

(2')所述精轧的总压下率:88%以上。

4.根据权利要求1～3中任一项所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,所述粗轧的总压下率大于所述精轧的总压下率。

5.根据权利要求1～4中任一项所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,所述钢坯的成分组成以质量%计进一步含有选自C:0.005%以下、Cr:3.0%以下、Ni:2.0%以下、Cu:2.0%以下、P:0.2%以下、S:0.0050%以下、N:0.0050%以下、O:0.0050%以下、Ti:0.0040%以下、Sn:0.20%以下、Sb:0.20%以下、Mo:0.10%以下、Ca:0.01%以下、REM:0.05%以下、Mg:0.01%以下以及Zn:0.01%以下中的至少一者。

6.一种无取向性电磁钢板的制造方法,包括以下工序:

热轧钢板制造工序,通过权利要求1～5中任一项所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法制造热轧钢板,

退火工序,对所述热轧钢板实施热轧板退火,

冷轧工序,对所述热轧钢板实施冷轧而制成冷轧钢板,

最终退火工序,对所述冷轧钢板实施最终退火。

无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法和无取向性电磁钢板的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法和无取向性电磁钢板的制造方法。

背景技术

[0002] 无取向性电磁钢板是用于马达、发电机的铁芯的材料。近年来,从减少CO_2的观点出发,强烈需要电气设备的高效率化,对于作为铁芯材料的无取向性电磁钢板,要求进一步的低铁损化。

[0003] 为了无取向性电磁钢板的低铁损化,添加Si、Al、Mn等合金元素来提高电阻率和减薄板厚是有效的。然而,高合金化和薄壁化会造成冷轧中的负荷增加,因此存在冷轧中容易发生断裂的问题。如果将供于冷轧的热轧钢板薄壁化,则能够降低冷轧的负荷,但是该情况下,热轧中的负荷增加,存在难以控制形状的问题。

[0004] 为此,提出使用比以往薄的钢坯(薄板坯)来制造无取向性电磁钢板的方法。在该方法中,使用被称为薄板坯连铸机的连续铸造机制造薄板坯,接着,将该薄板坯供于轧制。通过减薄板坯厚度,能够降低热轧和冷轧两者的负荷。另外,在使用薄板坯的方法中,通常将连续铸造机(薄板坯连铸机)与热轧机直接连接,从而省略板坯再加热,因此能够大幅降低能源成本。

[0005] 作为使用薄板坯的无取向性电磁钢板的制造方法,例如可以举出专利文献1、2中公开的方法。在专利文献1中,公开了一种对厚度20～100mm的薄板坯实施热轧而制成板厚1.0～4mm的热轧钢带的技术。另外,在专利文献2中公开了一种对厚度30～140mm的薄板坯实施热轧而制成板厚0.7～4.5mm的热轧钢带的技术。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2010-047785号公报

[0009] 专利文献2:日本特开2002-206114号公报

发明内容

[0010] 然而,可知在专利文献1、2记载的那种以往技术中,如果增加作为合金元素的Si、Al、Mn的量,热轧板退火中的再结晶变得困难,在最终得到的无取向性电磁钢板的表面容易发生起皱(波纹花样)。

[0011] 本发明的目的在于解决上述课题,具体而言,其目的在于,在使用薄板坯的工艺中,抑制对包含大量Si、Al、Mn的合金元素的钢进行处理时起皱的问题。

[0012] 本发明人等深入研究,结果发现在热轧工序前进行高温下的保温,将热轧分成粗轧和精轧,在两者之间进行再加热处理,并且,提高上述粗轧和上述精轧的压下率,由此能够有效地抑制起皱。

[0013] 本发明是基于上述见解而完成的,其要旨如下。

[0014] 1.一种无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,包括以下工序:

[0015] 连续铸造工序,通过连续铸造法制造具有以下成分组成且厚度为50mm～200mm的钢坯,所述成分组成以质量%计含有Si:2.0%～5.0%、Al:3.0%以下以及Mn:3.0%以下,Al和Mn的合计含量为0.40%以上,

[0016] 输送工序,在将上述钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送到炉中,

[0017] 保温工序,在上述炉中将上述钢坯在保温温度1100℃～1300℃、保温时间60秒以上的条件下进行保温,

[0018] 热轧工序,对上述钢坯依次实施粗轧、再加热处理和精轧,制成热轧钢板;

[0019] 并且,上述热轧工序在满足下述(1)和(2)的条件下进行;

[0020] (1)上述粗轧的总压下率:80%以上,

[0021] (2)上述精轧的总压下率:80%以上。

[0022] 2.根据上述1所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,将上述精轧中的出口侧板厚设为0.4mm～2.0mm。

[0023] 3.上述1或2中所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,上述热轧工序在满足下述(1')和(2')中的至少一个的条件下进行,

[0024] (1')上述粗轧的总压下率:88%以上,

[0025] (2')上述精轧的总压下率:88%以上。

[0026] 4.根据上述1～3中任一项所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,上述粗轧的总压下率大于上述精轧的总压下率。

[0027] 5.根据上述1～4中任一项所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法,其中,上述钢坯的成分组成以质量%计进一步含有选自C:0.005%以下、Cr:3.0%以下、Ni:2.0%以下、Cu:2.0%以下、P:0.2%以下、S:0.0050%以下、N:0.0050%以下、O:0.0050%以下、Ti:0.0040%以下、Sn:0.20%以下、Sb:0.20%以下、Mo:0.10%以下、Ca:0.01%以下、REM:0.05%以下、Mg:0.01%以下以及Zn:0.01%以下中的至少一者。

[0028] 6.一种无取向性电磁钢板的制造方法,包括以下工序:

[0029] 热轧钢板制造工序,通过上述1～5中任一项所述的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法制造热轧钢板,

[0030] 退火工序,对上述热轧钢板实施热轧板退火,

[0031] 冷轧工序,对上述热轧钢板实施冷轧而制成冷轧钢板,

[0032] 最终退火工序,对上述冷轧钢板实施最终退火。

[0033] 根据本发明,能够以低成本并且不发生起皱地制造合金量多且薄壁的无取向性电磁钢板。

附图说明

[0034] 图1是表示钢坯中的Al和Mn的合计含量(质量%)与无取向性电磁钢板的宽度方向的算术平均波纹度Wa(μm)的相关性的图。

[0035] 图2是表示保温工序中的保温温度(℃)和保温时间(秒)与无取向性电磁钢板的宽度方向的算术平均波纹度Wa(μm)的相关性的图。

[0036] 图3是表示粗轧中的总压下率(%)和精轧中的总压下率(%)与算术平均波纹度Wa(μm)的相关性的图。

具体实施方式

[0037] 首先,对作为开发本发明的契机的实验进行说明。应予说明,在本说明书中,除另有说明外,作为含量的单位的“%”是指“质量%”。

[0038] (实验1)

[0039] 在真空熔炼炉中对具有以下成分组成的厚度160mm的钢坯进行熔炼,所述成分组成含有C:0.002%、Si:3.0%、Al:0.05~2.0%、Mn:0.05~1.0%、Cr:0.01%、Ni:0.01%、Cu:0.01%、P:0.01%、N:0.003%、S:0.002%、O:0.001%以及Ti:0.001%,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成。然后,通过以下两种方法中的任一种对得到的钢坯进行热轧。

[0040] (1)再加热轧制:

[0041] 从真空熔炼炉中取出上述钢坯后,将该钢坯整体在大气中放冷至室温。接下来,将该钢坯插入电炉,在进行了1100℃、30分钟的再加热处理后,从电炉中取出上述钢坯,插入热轧机。

[0042] (2)直送轧制:

[0043] 在从真空熔炼炉中取出上述钢坯后,以表面温度未达到900℃以下的方式插入热轧机。

[0044] 在上述任一种方法中,在热轧中将钢坯粗轧至板厚15mm,接下来,通过感应加热装置再加热至1100℃,然后,精轧至板厚1.5mm,制成热轧钢板。

[0045] 在对得到的热轧钢板实施了1000℃、40秒的热轧板退火后,进行冷轧,制成板厚0.3mm的冷轧钢板。接下来,对上述冷轧钢板实施980℃、20秒的最终退火,得到无取向性电磁钢板。

[0046] 为了对得到的无取向性电磁钢板的表面的起皱进行评价,测定该无取向性电磁钢板表面的算术平均波纹度Wa。在上述算术平均波纹度Wa的测定中,使用触针式表面粗糙度仪,对钢板表面在板宽度方向上以测定长16mm进行测定,根据得到的波纹度曲线算出算术平均波纹度Wa。

[0047] 将使用的钢坯的Al和Mn的合计含量(质量%)与测定的Wa(μm)的关系示于图1。应予说明,在以下的说明中,分别将钢坯的Al含量记为[Al],将钢坯的Mn含量记为[Mn],将钢坯的Al和Mn的合计含量记为[Al]+[Mn]。

[0048] 根据图1所示的结果可知,在再加热轧制中,无论[Al]+[Mn]如何,均不发生起皱,但在直送轧制中,如果[Al]+[Mn]超过0.4%,则发生起皱。对使用直送轧制的工艺中得到的热轧钢板的显微组织进行观察,结果在[Al]+[Mn]高于0.4%的热轧钢板中残留有未再结晶组织。

[0049] 根据上述的实验结果,本发明人等推测在使用直送轧制的情况下观察到的起皱的产生是由热轧板退火中未再结晶组织残留引起的。因此,对在热轧板退火中促进再结晶的方法进行了进一步研究。

[0050] (实验2)

[0051] 本发明人等推测在直送轧制中MnS、AlN等析出物微细地析出,这些微细的析出物

阻碍了热轧板退火中的再结晶。因此,在热轧工序前进行保温处理而使析出物析出·长大,减少微细的析出物,对为此所需的条件进行了研究。

[0052] 在真空熔炼炉中对具有以下成分组成的厚度120mm的钢坯进行熔炼,所述成分组成含有C:0.002%、Si:3.0%、Al:0.5%、Mn:0.2%、Cr:0.01%、Ni:0.01%、Cu:0.01%、P:0.01%、N:0.003%、S:0.002%、O:0.001%以及Ti:0.001%,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成。在将上述钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送并插入电炉,进行保温温度:1000~1350℃、保温时间:30秒~600秒的保温处理(保温工序)。然后,从上述电炉中取出钢坯插入热轧机,进行热轧。在上述热轧中,将钢坯进行粗轧至板厚10mm,接下来,通过感应加热装置再加热至1100℃,然后,精轧至板厚1.2mm,制成热轧钢板。

[0053] 在对得到的热轧钢板实施了1000℃、40秒的热轧板退火后,进行冷轧,制成板厚0.3mm的冷轧钢板。接下来,对上述冷轧钢板实施980℃、20秒的最终退火,得到无取向性电磁钢板。

[0054] 按照与上述实验1相同的步骤对得到的无取向性电磁钢板的表面的算术平均波纹度Wa进行了测定。

[0055] 将上述保温工序中的保温温度和保温时间与算术平均波纹度Wa的关系示于图2。根据图2所示的结果可知,在保温时间小于60秒时,在任意的保温温度下均产生起皱。另一方面,在保温时间为60秒以上时,在保温温度为1100℃~1300℃的范围内起皱得到了抑制。

[0056] (实验3)

[0057] 接着,本发明人等为了研究直送轧制中的粗热轧和精热轧的压下率的分配,进行了以下实验。

[0058] 在真空熔炼炉中对具有以下成分组成的厚度160mm的钢坯进行熔炼,所述成分组成含有C:0.002%、Si:3.0%、Al:0.5%、Mn:0.2%、Cr:0.01%、Ni:0.01%、Cu:0.01%、P:0.01%、N:0.003%、S:0.002%、O:0.001%以及Ti:0.001%,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成。在将上述钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送并插入电炉,进行1150℃、300秒的保温处理。然后,从上述电炉中取出钢坯,插入热轧机,进行热轧。

[0059] 在上述热轧中,对钢坯依次实施粗轧、再加热处理和精轧,制成板厚0.6mm、1.0mm或1.8mm的热轧钢板。将上述粗轧中的总压下率设为70.0~98.0%,将上述精轧中的总压下率设为43.8~98.8%。另外,上述再加热处理使用感应加热装置,将薄板钢(粗轧后的钢)加热至1100℃。

[0060] 在对得到的热轧钢板以1000℃、25秒实施了热轧板退火后,以冷轧压下率80%进行冷轧,制成冷轧钢板。对上述冷轧钢板以980℃、20秒实施最终退火得到无取向性电磁钢板。

[0061] 按照与上述实验1相同的步骤对得到的无取向性电磁钢板的表面的算术平均波纹度Wa进行了测定。

[0062] 将粗轧中的总压下率和精轧中的总压下率与算术平均波纹度Wa的关系示于图3。图3中的3条线与各精轧中的出口侧板厚(热轧工序中的最终板厚):0.6mm、1.0mm和1.8mm中的结果对应。另外,对各点标注的数值为精轧中的总压下率(%)。

[0063] 根据图3所示的结果可知,在粗轧中的总压下率和精轧中的总压下率均为80%以上时,起皱得到了抑制。另外,在粗轧中的总压下率和精轧中的总压下率均为88%以上时,

起皱被进一步抑制。

[0064] 根据上述实验1～3的结果可知,即使在钢坯的Al含量和Mn含量高且使用包含直送轧制的工艺的情况下,通过在保温温度1100℃～1300℃、保温时间60秒以上的条件下进行保温处理,并且将粗轧和精轧中的总压下率分别设为80%以上,也能够抑制起皱。

[0065] 对于该理由,本发明人等考虑如下。首先,在含有N和S作为杂质的钢中,如果Al和Mn变多,则MnS和AlN的析出温度变高,而这些析出物的析出速度降低。因此,通过提高保温温度,增加析出速度,并且延长保温时间,能够使析出物粗大地长大。

[0066] 另外,通过提高粗轧中的总压下率,薄板钢的位错量增加,并且薄板钢的轧制组织微细化,晶界密度增加。这些位错和晶界成为保温处理中未析出的MnS和AlN的析出位点而促进析出,在后续的再加热处理中析出物粗大地长大。此外,通过提高精轧中的总压下率,热轧组织变得微细,作为再结晶位点的晶界密度增加。

[0067] 这样,认为由于析出物的粗大化和热轧组织微细化所引起的再结晶位点的增加,促进热轧板退火中的再结晶,抑制起皱的形成。

[0068] 本发明是基于上述见解的发明。以下,对用于实施本发明的方式进行具体说明。应予说明,本发明并不限于该实施方式。

[0069] [成分组成]

[0070] 在本发明中,对钢坯的成分组成的限定理由进行说明。

[0071] Si:2.0～5.0%

[0072] Si是具有提高钢板的固有电阻、降低铁损的效果的元素。为了得到上述效果,将Si含量设为2.0%以上。另一方面,如果Si含量超过5.0%,则轧制变得困难,因此将Si含量设为5.0%以下。从固有电阻和加工性平衡的观点出发,Si含量优选为2.5%以上,更优选为2.8%以上。从同样的理由出发,Si含量优选为4.5%以下,更优选为4.0%以下。

[0073] Al:3.0%以下

[0074] Al是具有提高钢板的固有电阻、降低铁损的效果的元素。然而,如果Al含量超过3.0%,则轧制变得困难。因此,将Al含量设为3.0%以下。从使铸造性良好的观点出发,Al含量优选为1.5%以下。另一方面,对Al含量的下限没有特别限定,但从铁损和制造性的平衡的观点出发,Al含量优选为0.2%以上,更优选为0.3%以上,进一步优选为0.5%以上。

[0075] Mn:3.0%以下

[0076] Mn是具有提高钢板的固有电阻、进一步降低铁损的效果的元素。然而,如果Mn含量超过3.0%,则产生板坯裂纹等,操作性变差。因此,将Mn含量设为3.0%以下。从抑制微细的MnS的析出的观点出发,Mn含量更优选为1.5%以下。另一方面,Mn含量的下限没有限定,但从进一步抑制微细的MnS的析出的观点出发,优选为0.20%以上。

[0077] Al和Mn的合计含量:0.40%以上

[0078] 如果Al和Mn的合计含量小于0.40%,则析出物的析出温度降低,如果应用本发明的特征即高温下的保温处理,则在保温处理中析出不进行,而在后续热轧中由于微细地析出而产生起皱。因此,将Al和Mn的合计含量设为0.40%以上,优选为1.00%以上,更优选为1.50%以上。另一方面,Al和Mn的合计含量的上限没有特别限定。然而,如上所述Al含量为3.0%以下,Mn含量为3.0%以下,所以Al和Mn的合计含量最大为6.00%。

[0079] 在本发明的一个实施方式中,上述钢坯也可以具有如下成分组成:含有Si:2.0%

～5.0％、Al:3.0％以下、Mn:3.0％以下,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成,Al和Mn的合计含量为0.40％以上。

[0080] 在本发明的另一个实施方式中,上述钢坯的成分组成可以进一步任意地含有下述元素中的至少一者。

[0081] C:0.005％以下

[0082] 无取向性电磁钢板中含有的C是形成碳化物而引起磁时效、使铁损特性变差的有害元素。因此,在钢坯中含有C的情况下,将C含量设为0.005％以下,优选为0.004％以下。另一方面,C含量的下限没有特别限定,但从抑制精炼工序中的脱碳成本的观点出发,C含量优选为0.0001％以上。

[0083] Cr:3.0％以下

[0084] Cr是具有提高钢板的固有电阻、降低铁损的效果的元素。然而,如果Cr含量超过3.0％,则析出碳化物,铁损反而变高。因此,在添加Cr的情况下,将Cr含量设为3.0％以下。从磁特性的观点出发,Cr含量优选为1.5％以下。另一方面,Cr含量的下限没有限定,但从提高Cr的添加效果的观点出发,Cr含量优选为0.001％以上,更优选为0.005％以上,进一步优选为0.01％以上。

[0085] Ni:2.0％以下

[0086] Ni是具有提高钢板的磁通密度的效果的元素。然而,Ni是昂贵的元素,如果Ni含量超过2.0％,则成本变得非常高。因此,在添加Ni的情况下,将Ni含量设为2.0％以下。从磁特性和成本的平衡的观点出发,Ni含量优选为0.5％以下。另一方面,Ni含量的下限没有限定,但从提高Ni的添加效果的观点出发,Ni含量优选为0.001％以上,更优选为0.005％以上,进一步优选为0.01％以上。

[0087] Cu:2.0％以下

[0088] Cu是具有提高钢板的磁通密度的效果的元素。然而,如果Cu含量超过2.0％,则引起热脆性,导致表面缺陷。因此,在添加Cu的情况下,将Cu含量设为2.0％以下。从磁特性和成本的平衡的观点出发,Cu含量优选为0.5％以下。另一方面,Cu含量的下限没有限定,但从提高Cu的添加效果的观点出发,Cu含量优选为0.005％以上,更优选为0.01％以上,进一步优选为0.05％以上。

[0089] P:0.2％以下

[0090] P是用于调整钢板的强度的元素。然而,如果P含量超过0.2％,则钢变脆,冷轧变得困难。因此,在添加P的情况下,将P含量设为0.2％以下。从强度和脆性的平衡的观点出发,P含量优选为0.1％以下。另一方面,P含量的下限没有限定,但从提高P的添加效果的观点出发,P含量优选为0.001％以上,更优选为0.005％以上,进一步优选为0.01％以上。

[0091] S:0.0050％以下

[0092] S是形成硫化物、使铁损增加的元素。因此,在含有S的情况下,将S含量设为0.0050％以下,优选为0.0020％以下,更优选为0.0010％以下。另一方面,从铁损的观点出发,S含量越低越好,因此S含量的下限没有限定,可以为0％。然而,S是作为杂质而不可避免混入钢中的元素,过度降低会导致制造成本的增加。因此,从成本的观点出发,S含量优选为0.0001％以上,更优选为0.0005％以上。

[0093] N:0.0050％以下

[0094] N是形成氮化物、增加铁损的元素。因此,在含有N的情况下,将N含量设为0.0050%以下,优选为0.0030%以下,更优选为0.0020%以下。另一方面,从铁损的观点出发,N含量越低越好,因此N含量的下限没有限定,可以为0%。然而,N是作为杂质不可避免混入钢中的元素,过度降低会导致制造成本的增加。因此,从成本的观点出发,N含量优选为0.0001%以上,更优选为0.0005%以上。

[0095] O:0.0050%以下

[0096] O是形成氧化物、增加铁损的元素。因此,在含有O的情况下,将O含量设为0.0050%以下,优选为0.0020%以下,更优选为0.0010%以下。另一方面,从铁损的观点出发,O含量越低越好,因此O含量的下限没有限定,可以为0%。然而,O是作为杂质而不可避免混入钢中的元素,过度降低会导致制造成本的增加。因此,从成本的观点出发,O含量优选为0.0005%以上,更优选为0.001%以上。

[0097] Ti:0.0040%以下

[0098] Ti是形成碳氮化物并增加铁损的元素。因此,在含有Ti的情况下,将Ti含量设为0.0040%以下,优选为0.0020%以下,更优选为0.0010%以下。另一方面,从铁损的观点出发,Ti含量越低越好,因此Ti含量的下限没有限定,可以为0%。然而,Ti是作为杂质而不可避免混入钢中的元素,过度降低会导致制造成本的增加。因此,从成本的观点出发,Ti含量优选为0.0001%以上,更优选为0.0005%以上。

[0099] Sn:0.20%以下

[0100] Sn是具有抑制表层的氮化、氧化、降低铁损的效果的元素。然而,即使添加超过0.20%,效果也饱和,因此,在添加Sn的情况下,将Sn含量设为0.20%以下,优选为0.10%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,Sn含量优选为0.005%以上。

[0101] Sb:0.20%以下

[0102] Sb是具有抑制表层的氮化、氧化、降低铁损的效果的元素。然而,即使添加超过0.20%,效果也饱和,因此,在添加Sb的情况下,将Sb含量设为0.20%以下,优选为0.10%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,Sb含量优选为0.005以上。

[0103] Mo:0.10%以下

[0104] Mo是具有抑制表层的氮化、氧化、降低铁损的效果的元素。然而,如果添加超过0.10%,铁损反而变高。因此,在添加Mo的情况下,将Mo含量设为0.10%以下,优选为0.05%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,Mo含量优选为0.001%以上。

[0105] Ca:0.01%以下

[0106] Ca是抑制微细的氧化物、硫化物的生成、降低铁损的元素。然而,即使添加超过0.01%,效果也饱和。因此,在添加Ca的情况下,将Ca含量设为0.01%以下,优选为0.006%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,Ca含量优选为0.001%以上。

[0107] REM:0.05%以下

[0108] REM(稀土金属)是抑制微细的硫化物的生成、降低铁损的元素。然而,即使添加超过0.05%,效果也饱和。因此,在添加REM的情况下,将REM含量设为0.10%以下,优选为0.03%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,REM含量优选为0.005%以上。

[0109] Mg:0.01%以下

[0110] Mg是抑制微细的硫化物的生成、降低铁损的元素。然而,即使添加超过0.01%,效

果也饱和。因此,在添加Mg的情况下,将Mg含量设为0.10%以下,优选为0.006%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,Mg含量优选为0.001%以上。

[0111] Zn:0.01%以下

[0112] Zn是抑制微细的氧化物、硫化物的生成、降低铁损的元素。然而,即使添加超过0.01%,效果也饱和。因此,在添加Zn的情况下,将Zn含量设为0.01%以下,优选为0.005%以下。另一方面,从提高上述效果的观点出发,Zn含量优选为0.001以上。

[0113] [无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造条件]

[0114] 接着,对使用具有上述成分组成的钢坯制造无取向性电磁钢板用热轧钢板时的制造条件进行说明。

[0115] 本发明的一个实施方式中的无取向性电磁钢板用热轧钢板的制造方法包括以下工序:连续铸造工序,通过连续铸造法制造钢坯;输送工序,在将上述钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送到炉中;保温工序,在上述炉中将上述钢坯在保温温度1100℃~1300℃、保温时间60秒以上的条件下进行保温;热轧工序,对上述钢坯依次实施粗轧、再加热处理和精轧,制成热轧钢板。以下对各工序进行说明。

[0116] •连续铸造工序

[0117] 首先,通过连续铸造法制造具有上述成分组成的钢坯(连续铸造工序)。进行连续铸造的方法没有特别限定,可以按照常规方法进行。对连续铸造中使用的钢水的成分调整方法没有特别限定,可以通过任意的方法进行。例如,上述钢水的成分调整可以使用转炉、电炉、真空脱气装置及其他装置和方法。

[0118] 钢坯的厚度:50~200mm

[0119] 在上述连续铸造工序中,制造厚度为50mm~200mm的钢坯。如果钢坯的厚度小于50mm,则无法充分获得热轧工序中的粗轧和精轧的压下率,热轧板退火中的再结晶受到阻碍。因此,将钢坯的厚度设为50mm以上。从抑制连续铸造工序到保温工序之间的板坯温度的下降的观点出发,钢坯的厚度优选为100mm以上。进而,从在粗轧和精轧中充分确保压下率的观点出发,钢坯的厚度更优选为140mm以上。另一方面,如果钢坯的厚度超过200mm,则热轧工序中的轧制负荷增大,导致轧制设备的大型化,设备成本增大。因此,将钢坯的厚度设为200mm以下。

[0120] •输送工序

[0121] 接着,将上述连续铸造工序中制造的钢坯输送到用于保温处理的炉中(输送工序)。在上述输送工序中,重要的是在将钢坯的表面温度维持在800℃以上的状态下进行输送。换言之,在本发明中,从在连续铸造工序中制造后直至到达炉中的期间,进行输送以使钢坯的表面温度不低于800℃。如果钢坯的表面温度低于800℃,则该钢坯的再加热所需的能量增大,得不到节能化的效果。

[0122] 用于抑制上述输送工序中的钢坯的表面温度的下降的方法没有特别限定,但例如可以通过提高铸造速度、增加板坯厚度来抑制表面温度的下降。

[0123] 在上述输送工序中,也可以将钢坯切割后输送到炉中。然而,从抑制板坯的温度下降的观点出发,优选不进行切割将钢坯直接输送到炉(保温设备)中。

[0124] •保温工序

[0125] 接下来,在上述炉中将上述钢坯在保温温度1100℃~1300℃、保温时间60秒以上

的条件下进行保温(保温工序)。通过进行保温处理促进MnS、AlN的析出与粗大化,从而促进制造无取向性电磁钢板时的热轧板退火工序中的再结晶。

[0126] 保温温度:1100～1300℃

[0127] 如果上述保温温度小于1100℃,则不会促进析出物的粗大化,而是以微细的状态残留在板坯中。而且,其结果,热轧板退火中的再结晶受到阻碍,容易产生起皱。因此,将保温温度设为1100℃以上,优选为1150℃以上。另一方面,如果保温温度高于1300℃,则析出物的析出不进行,因此在保温后的热轧中,MnS、AlN微细地析出。而且,其结果,热轧板退火中的再结晶受到阻碍,容易产生起皱。因此,将保温温度设为1300℃以下,优选为1250℃以下。

[0128] 保温时间:60秒以上

[0129] 另外,如果保温时间小于60秒,则MnS、AlN的析出和粗大化不进行,所以仍容易产生起皱。因此,将保温时间设为60秒以上,优选为300秒以上。另一方面,对保温时间的上限没有特别限定,但如果超过3600秒,除了效果饱和之外,设备的建造成本增大。因此,上述保持时间优选为3600秒以下,更优选为2400秒以下,进一步优选为2000秒以下。

[0130] 上述保温处理中的加热方法没有特别限定,可以使用例如感应加热、燃气炉、电炉等任意的方法。但是,在使用燃气炉的情况下,由于燃烧气体而在钢板的表面生成氧化皮。因此,从抑制氧化皮的生成和CO_2的排出的观点出发,优选使用电能的加热方法、即采用感应加热或者电炉。其中,电炉适合长时间、连续地加热钢坯,建造成本也较低。因此,上述保温处理进一步优选使用电炉

[0131] • 热轧

[0132] 接下来,对上述钢坯依次实施粗轧、再加热处理和精轧,制成热轧钢板(热轧工序)。在本发明中,重要的是在满足下述(1)和(2)的条件下实施上述热轧工序。

[0133] (1)粗轧的总压下率:80％以上

[0134] (2)精轧的总压下率:80％以上

[0135] 粗轧的总压下率:80％以上

[0136] 如果粗轧的总压下率小于80％,则位错导入对MnS、AlN的析出促进不充分,不会产生后续的再加热处理中的析出物粗大化。另外,热轧后的晶界密度不够细化。而且,其结果,在制造无取向性电磁钢板时的热轧板退火中,不能促进再结晶,容易产生起皱。因此,将粗轧的总压下率设为80％以上,优选为88％以上,更优选为91％以上。特别是如果粗轧的总压下率为91％,则粗轧后的加工组织的宽度变得极细,作为MnS、AlN的析出位点的晶界在板厚方向上的密度大幅增加。而且,其结果能够极其有效地促进MnS、AlN的析出。这里,粗轧的总压下率是指根据粗轧开始前的板厚(钢坯的板厚)与粗轧结束后的板厚(出口侧板厚)算出的压下率。应予说明,上述粗轧的道次数没有特别限定,可以设为1道次以上的任意道次数。

[0137] 精轧的总压下率:80％以上

[0138] 另外,如果精轧的总压下率小于80％,则热轧后的晶界密度未充分细化,因此在热轧板退火中不能促进再结晶,容易产生起皱。因此,将精轧的总压下率设为80％以上,优选为88％以上,更优选为91％以上。特别是若精轧的总压下率为91％以上,不仅热轧后的晶界密度大幅增加,而且热轧后残留在钢板中的位错的数量也大幅增加。而且,其结果更容易产生热轧板退火中的再结晶,能够更有效地抑制起皱。应予说明,这里,精轧的总压下率是指

根据精轧开始前的板厚和精轧结束后的板厚(出口侧板厚)算出的压下率。应予说明,上述精轧的道次数没有特别限定,可以是1道次以上的任意道次数。

[0139] 另外,从进一步促进MnS、AlN的析出、进一步提高起皱的抑制效果的观点出发,优选粗轧的总压下率大于精轧的总压下率。

[0140] 应予说明,在利用以往的再加热轧制的工艺中,为了将铸造的钢坯暂时冷却至室温附近,大的过冷度导致冷却中或再加热中AlN、MnS析出,在再加热期间析出物粗大化。因此,在再加热轧制的情况下,无需为了抑制起皱而控制热轧中的压下率。

[0141] 另一方面,像本发明那样在将铸造的钢坯以维持在高温的状态供给热轧的工艺(直送轧制)的情况下,从铸造到热轧期间不会进行AlN、MnS的析出和粗大化。因此,即使实施了保温处理,如果不提高粗轧和精轧中的压下率来促进热轧板退火中的再结晶,也无法充分获得起皱的抑制效果。即,本发明中的压下率的限定是为了解决直送轧制情况下特有的起皱的问题,是基于与以往的再加热轧制中的压下率的控制完全不同的新构想而进行的。

[0142] 在上述粗轧和精轧之间进行再加热处理。在粗轧中,为了使微细地析出的析出物粗大化来抑制起皱,需要进行上述再加热处理。另外,通过进行上述再加热处理,还能够提高材料的温度,降低精轧时的变形阻力。

[0143] 上述再加热处理中的加热温度没有特别限定,优选为950℃以上,更优选为1050℃以上。另一方面,对上述加热温度的上限也没有特别限定,但若加热温度过高,则效果饱和,而且能效也降低。因此,上述再加热处理中的加热温度优选为1300℃以下,更优选为1200℃以下。上述再加热处理中的加热方法没有特别限定,可以利用感应加热、燃气炉、电炉等任意的方法。

[0144] 应予说明,上述精轧中的出口侧板厚(最终得到的热轧钢板的板厚)没有特别限定,可以是任意的厚度。然而,如果上述出口侧板厚小于0.4mm,则钢板的全长变得过长,生产率下降。因此,从生产率的观点出发,精轧中的出口侧板厚优选为0.4mm以上。另一方面,如果上述出口侧板厚超过2.0mm,则冷轧的负荷增大。因此,从降低冷轧中的负荷的观点出发,精轧中的出口侧板厚优选为2.0mm以下。从即使在冷轧后的最终板厚薄的情况下也能降低冷轧负荷的观点出发,上述出口侧板厚更优选为1.5mm以下。

[0145] [无取向性电磁钢板的制造条件]

[0146] 本发明的一个实施方式中的无取向性电磁钢板的制造方法包括:通过上述制造方法制造热轧钢板的热轧钢板制造工序、对上述热轧钢板实施热轧板退火的热轧板退火工序、对上述热轧钢板实施冷轧而制成冷轧钢板的冷轧工序、对上述冷轧钢板实施最终退火的最终退火工序。

[0147] 上述热轧板退火、冷轧和最终退火的各工序没有特别限定,可以按照常规方法进行。

[0148] 优选在上述热轧板退火之后且上述冷轧之前,进行酸洗。另外,还优选在上述最终退火之后,在得到的无取向性电磁钢板的表面形成绝缘涂层。对于上述酸洗和绝缘涂层的形成也没有特别限定,可以按照常规方法进行。

[0149] 实施例

[0150] (实施例1)

[0151] 通过连续铸造法制造具有如下成分组成的厚度60mm的钢坯,所述成分组成含有C:0.002%、Si:3.2%、Al:0.60%、Mn:0.50%、S:0.0010%、N:0.0015%、O:0.0010%、Cr:0.02%、Ni:0.01%、Cu:0.02%、P:0.01%以及Ti:0.001%,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成。不切割上述钢坯,在将该板坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送至隧道式的电炉中,在上述电炉中进行保温处理。上述保温处理中的保温温度和保温时间如表1所示。应予说明,为了比较,一部分的实施例中不进行保温处理。

[0152] 接下来,在表1所示的条件下对上述钢坯实施由3道次的粗轧、再加热处理和4道次的精轧构成的热轧,制成热轧钢板。在上述再加热处理中,以感应加热方式对刚粗轧后的板坯进行加热。应予说明,为了比较,一部分的实施例中省略再加热处理。

[0153] 将精轧后的热轧钢板连续地卷成卷,制成热轧卷,对上述热轧卷实施1030℃、40秒的热轧板退火,制成热轧退火板。接下来,对上述热轧退火板实施压下率85%的冷轧,制成冷轧钢板。然后,对上述冷轧钢板实施1000℃、15秒的最终退火,得到无取向性电磁钢板。

[0154] 为了对得到的无取向性电磁钢板的表面的起皱进行评价,测定该无取向性电磁钢板表面的算术平均波纹度Wa。在上述算术平均波纹度Wa的测定中,使用触针式表面粗糙度仪,对钢板表面在板宽度方向上以测定长16mm进行测定,根据得到的波纹度曲线算出算术平均波纹度Wa。将测定结果一并记录在表1中。

[0155] 根据表1所示的结果可知,在满足本发明的条件的实施例中,算术平均波纹度Wa降低,可以抑制起皱。

[0156] [表1

[0157] [表

[0158]

No.	保温工序		热轧工序					评价结果	备注
			粗轧		再加热处理	精轧			
	保温温度[℃]	保温时间[s]	出口侧板厚[mm]	总压下率[%]	加热温度[℃]	出口侧板厚[mm]	总压下率[%]	Wa[μm]	
1	-	-	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	2.98	比较例
2	1000	60	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	2.46	比较例
3	1080	60	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	1.13	比较例
4	1100	40	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	1.08	比较例
5	1100	60	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	0.87	发明例
6	1100	600	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	0.55	发明例
7	1100	1200	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	0.48	发明例
8	1100	1800	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	0.43	发明例
9	1200	600	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	0.46	发明例
10	1300	600	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	0.87	发明例
11	1320	600	8.0	86.7	1050	1.0	87.5	1.17	比较例
12	1150	600	15.0	75.0	1050	1.0	93.3	1.34	比较例
13	1150	600	11.0	81.7	1050	1.0	90.9	0.79	发明例
14	1150	600	4.5	92.5	1050	1.0	77.8	1.23	比较例
15	1150	600	8.0	86.7	-	1.0	87.5	1.37	比较例
16	1150	600	8.0	86.7	900	1.0	87.5	0.62	发明例
17	1150	600	8.0	86.7	1000	1.0	87.5	0.54	发明例
18	1150	600	8.0	86.7	1100	1.0	87.5	0.51	发明例
19	1150	600	8.0	86.7	1150	1.0	87.5	0.45	发明例
20	1150	600	6.5	89.2	1050	0.6	90.8	0.28	发明例
21	1150	600	5.0	91.7	1050	0.4	92.0	0.26	发明例
22	1150	600	8.0	86.7	1050	1.4	82.5	0.38	发明例
23	1150	600	6.0	90.0	1000	1.0	83.3	0.43	发明例
24	1150	600	4.0	93.3	1050	0.4	90.0	0.21	发明例
25	1150	600	4.5	92.5	1050	0.9	80.0	0.42	发明例
26	1150	600	4.5	92.5	1050	0.6	86.7	0.30	发明例
27	1150	600	4.5	92.5	1050	0.5	88.9	0.27	发明例

[0159] (实施例2)

[0160] 通过连续铸造法制造具有如下成分组成的厚度160mm的钢坯,所述成分组成含有C:0.002%、Si:3.0%、Al:1.3%、Mn:0.40%、S:0.0005%、N:0.0015%、O:0.0010%、Cr:0.10%、Ni:0.15%、Cu:0.18%、P:0.02%以及Ti:0.0015%,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成。不切割上述钢坯,在将该板坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送至隧道式的燃气炉中,在上述燃气炉中进行保温处理。上述保温处理中的保温温度和保温时间如表2所示。应予说明,为了比较,一部分的实施例中不进行保温处理。

[0161] 接下来,在表2所示的条件下,对上述钢坯实施由4道次的粗轧、再加热处理和5道次的精轧构成的热轧,制成热轧钢板。在上述再加热处理中,以感应加热方式对刚粗轧后的板坯进行加热。应予说明,为了比较,一部分的实施例中省略再加热处理。

[0162] 将精轧后的热轧钢板连续地卷成卷,制成热轧卷,对上述热轧卷实施1020℃、30秒的热轧板退火,制成热轧退火板。接下来,对上述热轧退火板实施压下率85%的冷轧,制成冷轧钢板。然后,对上述冷轧钢板实施1000℃、15秒的最终退火,得到无取向性电磁钢板。

[0163] 为了评价得到的无取向性电磁钢板的表面的起皱,通过与上述实施例1同样的方法测定该无取向性电磁钢板表面的算术平均波纹度Wa。将测定结果一并记录在表2中。

[0164] 根据表2所示的结果可知,在满足本发明的条件的实施例中,算术平均波纹度Wa降低,可以抑制起皱。

[0165] [表2]

[0166] [表

[0167]

No.	保温工序		热轧工序					评价结果	备注
			粗轧		再加热处理	精轧			
	保温温度[℃]	保温时间[s]	出口侧板厚[mm]	总压下率[%]	加热温度[℃]	出口侧板厚[mm]	总压下率[%]	Wa[μm]	
28	-	-	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	3.06	比较例
29	1000	60	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	2.52	比较例
30	1080	60	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	1.13	比较例
31	1100	40	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.89	比较例
32	1100	60	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.92	发明例
33	1100	600	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.55	发明例
34	1100	1200	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.39	发明例
35	1100	1800	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.50	发明例
36	1200	600	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.46	发明例
37	1300	600	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.93	发明例
38	1320	600	20.0	87.5	1050	2.5	87.5	0.96	比较例
39	1150	600	35.0	78.1	1050	2.5	92.9	1.32	比较例
40	1150	600	30.0	81.3	1050	2.5	91.7	0.87	发明例
41	1150	600	12.0	92.5	1050	2.5	79.2	1.29	比较例
42	1150	600	20.0	87.5	-	2.5	87.5	1.25	比较例
43	1150	600	20.0	87.5	900	2.5	87.5	0.58	发明例
44	1150	600	20.0	87.5	1000	2.5	87.5	0.58	发明例
45	1150	600	20.0	87.5	1100	2.5	87.5	0.56	发明例
46	1150	600	20.0	87.5	1150	2.5	87.5	0.40	发明例
47	1150	600	18	88.8	1050	2.0	88.9	0.24	发明例
48	1150	600	10	93.8	1050	1.0	90.0	0.23	发明例
49	1150	600	20.0	87.5	1050	3.0	85.0	0.47	发明例
50	1150	600	15.0	90.6	1000	2.5	83.3	0.41	发明例
51	1150	600	12	92.5	1000	2.0	83.3	0.38	发明例
52	1150	600	12	92.5	1000	1.5	87.5	0.34	发明例
53	1150	600	12	92.5	1000	1.4	88.3	0.27	发明例
54	1150	600	9	94.4	1000	1.5	83.3	0.32	发明例
55	1150	600	9	94.4	1000	1.2	86.7	0.28	发明例
56	1150	600	9	94.4	1000	1	88.9	0.23	发明例

[0168] (实施例3)

[0169] 通过连续铸造法制造具有如下成分组成的厚度190mm的钢坯,所述成分组成含有C:0.002%、Si:3.4%、Al:0.3%、Mn:0.60%、S:0.0008%、N:0.010%、O:0.0010%、Cr:0.015%、Ni:0.015%、Cu:0.03%、P:0.015%以及Ti:0.0015%,剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成。不切割上述钢坯,在将该板坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送至隧道式的燃气炉中,在上述燃气炉中进行保温处理。上述保温处理中的保温温度和保温时间如表3所示。应予说明,为了比较,一部分的实施例中不进行保温处理。

[0170] 接下来,在表3所示的条件下,对上述钢坯实施由4道次的粗轧、再加热处理和5道次的精轧构成的热轧,制成热轧钢板。在上述再加热处理中,以感应加热方式对刚粗轧后的板坯进行加热。应予说明,为了比较,一部分的实施例中省略再加热处理。

[0171] 将精轧后的热轧钢板连续地卷成卷,制成热轧卷,对上述热轧卷实施1050℃、20秒的热轧板退火,制成热轧退火板。接下来,对上述热轧退火板实施压下率85%的冷轧,制成冷轧钢板。然后,对上述冷轧钢板实施1000℃、15秒的最终退火,得到无取向性电磁钢板。

[0172] 为了评价得到的无取向性电磁钢板的表面的起皱,通过与上述实施例1同样的方

法测定该无取向性电磁钢板表面的算术平均波纹度Wa。将测定结果一并记录在表3中。

[0173] 根据表3所示的结果可知,在满足本发明的条件的实施例中,算术平均波纹度Wa降低,可以抑制起皱。

[0174] [表3]

[0175] [表

[0176]

No.	保温工序		热轧工序					评价结果	备注
			粗轧		再加热处理	精轧			
	保温温度[℃]	保温时间[s]	出口侧板厚[mm]	总压下率[%]	加热温度[℃]	出口侧板厚[mm]	总压下率[%]	Wa[μm]	
57	-	-	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	2.71	比较例
58	1000	60	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	2.28	比较例
59	1080	60	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	1.20	比较例
60	1100	40	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	1.24	比较例
61	1100	60	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	0.95	发明例
62	1100	600	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	0.63	发明例
63	1100	1200	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	0.39	发明例
64	1100	1800	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	0.39	发明例
65	1200	600	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	0.55	发明例
66	1300	600	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	1.02	发明例
67	1320	600	25.0	86.8	1050	2.5	90.0	0.97	比较例
68	1150	600	40.0	78.9	1050	3.0	92.5	1.51	比较例
69	1150	600	35.0	81.6	1050	2.5	92.9	0.66	发明例
70	1150	600	12.0	93.7	1050	2.5	79.2	1.28	比较例
71	1150	600	25.0	86.8	-	2.5	90.0	1.45	比较例
72	1150	600	25.0	86.8	900	2.5	90.0	0.54	发明例
73	1150	600	25.0	86.8	1000	2.5	90.0	0.61	发明例
74	1150	600	25.0	86.8	1100	2.5	90.0	0.43	发明例
75	1150	600	25.0	86.8	1150	2.5	90.0	0.54	发明例
76	1150	600	20	89.5	1050	1.5	92.5	0.27	发明例
77	1150	600	15	92.1	1050	1.0	93.3	0.23	发明例
78	1100	600	25.0	86.8	1050	4.0	84.0	0.56	发明例
79	1100	600	18.0	90.5	1050	2.5	86.1	0.49	发明例
80	1150	600	11.0	94.2	1050	1.0	90.9	0.18	发明例
81	1100	600	15	92.1	1050	2.0	86.7	0.37	发明例
82	1100	600	15	92.1	1050	1.5	90.0	0.29	发明例
83	1100	600	15	92.1	1050	1.0	93.3	0.24	发明例
84	1100	600	20	89.5	1050	2.5	87.5	0.39	发明例
85	1100	600	20	89.5	1050	2.0	90.0	0.31	发明例
86	1100	600	20	89.5	1050	1.5	92.5	0.27	发明例

[0177] (实施例4)

[0178] 通过连续铸造法制造具有表4～6所示的成分组成的厚度150mm的钢坯。不切割上述钢坯,在将该板坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送到隧道式的燃气炉中,在上述燃气炉中进行保温处理。上述保温处理中的保温温度为1150℃,保温时间为1500秒。

[0179] 接下来,对上述钢坯实施由4道次的粗轧、再加热处理和5道次的精轧构成的热轧,制成热轧钢板。将上述粗轧中的总压下率设为90%,上述精轧中的总压下率设为93.3%。另外,上述再加热处理中,以感应加热方式对刚粗轧后的板坯进行加热至1100℃。

[0180] 将精轧后的热轧钢板连续地卷成卷,制成热轧卷,对上述热轧卷实施1050℃、20秒的热轧板退火,制成热轧退火板。接下来,对上述热轧退火板实施压下率80%的冷轧,制成板厚0.20mm的冷轧钢板。然后,对上述冷轧钢板实施1000℃、20秒的最终退火,得到无取向

性电磁钢板。

[0181] 为了评价得到的无取向性电磁钢板的表面的起皱,通过与上述实施例1同样的方法测定该无取向性电磁钢板表面的算术平均波纹度Wa。将测定结果一并记录在表4～6中。

[0182] 根据表4～6所示的结果可知,在满足本发明的条件的实施例中,算术平均波纹度Wa降低,可以抑制起皱。

[0183]

[表4]

表4

No.	成分组成（质量%）*													评价结果	备注
	C	Si	Al	Mn	[Al]+[Mn]	S	N	O	Cr	Ni	Cu	P	Ti	其他	Wa [μm]	备注
87	0.0045	3.0	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.31	发明例
88	0.002	2.1	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.49	发明例
89	0.002	3.4	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.39	发明例
90	0.002	4.0	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.38	发明例
91	0.002	4.5	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.41	发明例
92	0.002	3.0	0.2	0.15	0.35	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	1.18	比较例
93	0.002	2.8	0.2	0.25	0.45	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.87	发明例
94	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.35	发明例
95	0.002	2.8	1.2	0.5	1.70	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.46	发明例
96	0.002	2.8	0.5	1.2	1.70	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.43	发明例
97	0.002	2.8	1.5	1.5	3.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.54	发明例
98	0.002	2.8	2.8	0.2	3.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.67	发明例
99	0.002	2.8	3.2	0.2	3.40	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	1.13	比较例
100	0.002	2.8	0.2	2.8	3.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.79	发明例
101	0.002	2.8	0.2	3.1	3.30	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	1.12	比较例
102	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0008	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.35	发明例
103	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0045	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.42	发明例
104	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0056	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.39	发明例
105	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.009	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.42	发明例
106	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.0048	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.36	发明例
107	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.0053	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.40	发明例
108	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.0045	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.38	发明例

*剩余部分为Fe和不可避免的杂质

[0184]

[表5]

表5

No.	成分组成（质量%）*													评价结果	备注
	C	Si	Al	Mn	[Al]+[Mn]	S	N	O	Cr	Ni	Cu	P	Ti	其他	Wa [μm]	备注
109	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.0055	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.36	发明例
110	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.06	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.37	发明例
111	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.15	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.41	发明例
112	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	2.88	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.35	发明例
113	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	3.23	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.41	发明例
114	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.1	0.02	0.01	0.001	–	0.42	发明例
115	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.52	0.02	0.01	0.001	–	0.39	发明例
116	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	1.87	0.02	0.01	0.001	–	0.42	发明例
117	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	2.12	0.02	0.01	0.001	–	0.44	发明例
118	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.16	0.01	0.001	–	0.40	发明例
119	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	1.02	0.01	0.001	–	0.36	发明例
120	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	1.89	0.01	0.001	–	0.38	发明例
121	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	2.23	0.01	0.001	–	0.42	发明例
122	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.025	0.001	–	0.40	发明例
123	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.18	0.001	–	0.39	发明例
124	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.21	0.001	–	0.39	发明例
125	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.0025	–	0.41	发明例
126	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.0038	–	0.45	发明例
127	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Sn:0.05	0.44	发明例
128	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Sb:0.01	0.36	发明例
129	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Mo:0.01	0.39	发明例
130	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Mo:0.02	0.37	发明例

*剩余部分为Fe和不可避免的杂质

[0185]

[表6]

表6

No.	成分组成（质量%）*														评价结果	备注
	C	Si	Al	Mn	[Al]+[Mn]	S	N	O	Cr	Ni	Cu	P	Ti	其他	Wa [μm]	
131	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Ca:0.002	0.43	发明例
132	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Ca:0.005	0.40	发明例
133	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	REM:0.005	0.43	发明例
134	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Mg:0.002	0.40	发明例
135	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Zn:0.002	0.38	发明例
136	0.002	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.42	发明例
137	0.002	4.2	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.43	发明例
138	0.002	4.7	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.48	发明例
139	0.002	5.3	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.51	比较例
140	0.002	1.5	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.52	比较例
141	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.0001	–	0.43	发明例
142	–	4.2	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.0001	–	0.45	发明例
143	–	4.7	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.0001	–	0.47	发明例
144	0.002	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.0001	–	0.39	发明例
145	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.0001	–	0.42	发明例
146	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.002	0.0005	–	–	–	–	0.0001	–	0.43	发明例
147	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.001	–	–	–	–	0.0001	–	0.41	发明例
148	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	0.01	–	–	–	0.0001	–	0.43	发明例
149	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	0.01	–	–	0.0001	–	0.42	发明例
150	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	0.02	–	0.0001	–	0.41	发明例
151	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	0.01	0.0001	–	0.40	发明例
152	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.001	–	0.42	发明例

*剩余部分为Fe和不可避免的杂质

[0186] (实施例5)

[0187] 通过连续铸造法制造具有表7～9所示的成分组成的厚度150mm的钢坯。不切割上述钢坯,在将该板坯的表面温度维持在800℃以上的状态下输送到隧道式的燃气炉中,在上述燃气炉中进行保温处理。上述保温处理中的保温温度为1150℃,保温时间为500秒。

[0188] 接下来,对上述钢坯实施由4道次的粗轧、再加热处理和5道次的精轧构成的热轧,制成热轧钢板。将上述粗轧中的总压下率设为92%,上述精轧中的总压下率设为91.7%。另外,上述再加热处理中,以感应加热方式对刚粗轧后的板坯进行加热至1100℃。

[0189] 将精轧后的热轧钢板连续地卷成卷,制成热轧卷,对上述热轧卷实施1050℃、20秒

的热轧板退火，制成热轧退火板。接下来，对上述热轧退火板实施压下率80％的冷轧，制成板厚0.20mm的冷轧钢板。然后，对上述冷轧钢板实施1000℃、20秒的最终退火，得到无取向性电磁钢板。

[0190] 为了评价得到的无取向性电磁钢板的表面的起皱，通过与上述实施例1同样的方法测定该无取向性电磁钢板表面的算术平均波纹度Wa。将测定结果一并记录在表4～6中。

[0191] 根据表7～9所示的结果可知，在满足本发明的优选的粗轧的条件的实施例中，算术平均波纹度Wa进一步降低，可以抑制起皱。

[0192]

[表7]

表7

No.	成分组成（质量%）*													评价结果	备注
	C	Si	Al	Mn	[Al]+[Mn]	S	N	O	Cr	Ni	Cu	P	Ti	其他	Wa [μm]	备注
153	0.0045	3.0	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.28	发明例
154	0.002	2.1	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.42	发明例
155	0.002	3.4	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.33	发明例
156	0.002	4.0	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.31	发明例
157	0.002	4.5	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.34	发明例
158	0.002	3.0	0.2	0.15	0.35	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	1.12	比较例
159	0.002	2.8	0.2	0.25	0.45	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.75	发明例
160	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.29	发明例
161	0.002	2.8	1.2	0.5	1.70	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.39	发明例
162	0.002	2.8	0.5	1.2	1.70	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.38	发明例
163	0.002	2.8	1.5	1.5	3.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.49	发明例
164	0.002	2.8	2.8	0.2	3.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.61	发明例
165	0.002	2.8	3.2	0.2	3.40	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	1.07	比较例
166	0.002	2.8	0.2	2.8	3.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.72	发明例
167	0.002	2.8	0.2	3.1	3.30	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	1.04	比较例
168	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0008	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.29	发明例
169	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0045	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.33	发明例
170	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0056	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.32	发明例
171	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.009	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.35	发明例
172	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.0048	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.28	发明例
173	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.0053	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.34	发明例
174	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.0045	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.30	发明例

*剩余部分为Fe和不可避免的杂质

[0193]

[表8]

表8

No.	成分组成（质量%）*															评价结果	备注
	C	Si	Al	Mn	[Al]+[Mn]	S	N	O	Cr	Ni	Cu	P	Ti	其他	Wa [μm]	备注
175	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.0055	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.29	发明例
176	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.06	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.31	发明例
177	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.15	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.34	发明例
178	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	2.88	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.27	发明例
179	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	3.23	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.33	发明例
180	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.1	0.02	0.01	0.001	–	0.35	发明例
181	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.52	0.02	0.01	0.001	–	0.32	发明例
182	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	1.87	0.02	0.01	0.001	–	0.34	发明例
183	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	2.12	0.02	0.01	0.001	–	0.35	发明例
184	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.16	0.01	0.001	–	0.30	发明例
185	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	1.02	0.01	0.001	–	0.27	发明例
186	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	1.89	0.01	0.001	–	0.28	发明例
187	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	2.23	0.01	0.001	–	0.35	发明例
188	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.025	0.001	–	0.31	发明例
189	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.18	0.001	–	0.30	发明例
190	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.21	0.001	–	0.29	发明例
191	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.0025	–	0.31	发明例
192	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.0038	–	0.34	发明例
193	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Sn:0.05	0.33	发明例
194	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Sb:0.01	0.27	发明例
195	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Mo:0.01	0.29	发明例
196	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Mo:0.02	0.27	发明例

*剩余部分为Fe和不可避免的杂质

[0194]

[表9]

表9

No.	成分组成（质量%）*														评价结果	备注
	C	Si	Al	Mn	[Al]+[Mn]	S	N	O	Cr	Ni	Cu	P	Ti	其他	Wa [μm]	备注
197	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Ca:0.002	0.34	发明例
198	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Ca:0.005	0.30	发明例
199	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	REM:0.005	0.33	发明例
200	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Mg:0.002	0.31	发明例
201	0.002	2.8	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	Zn:0.002	0.28	发明例
202	0.002	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.33	发明例
203	0.002	4.2	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.33	发明例
204	0.002	4.7	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.40	发明例
205	0.002	5.3	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.45	比较例
206	0.002	1.5	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.002	0.001	0.01	0.01	0.02	0.01	0.001	–	0.44	比较例
207	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	–	–	0.33	发明例
208	–	4.2	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	–	–	0.34	发明例
209	–	4.7	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	–	–	0.35	发明例
210	0.002	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	–	–	0.29	发明例
211	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0015	0.0001	0.0005	–	–	–	–	–	–	0.32	发明例
212	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.002	0.0005	–	–	–	–	–	–	0.32	发明例
213	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.001	–	–	–	–	–	–	0.31	发明例
214	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	0.01	–	–	–	–	–	0.33	发明例
215	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	0.01	–	–	–	–	0.33	发明例
216	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	0.02	–	–	–	0.31	发明例
217	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	0.01	–	–	0.30	发明例
218	–	2.6	0.5	0.5	1.00	0.0001	0.0001	0.0005	–	–	–	–	0.001	–	0.32	发明例

*剩余部分为Fe和不可避免的杂质

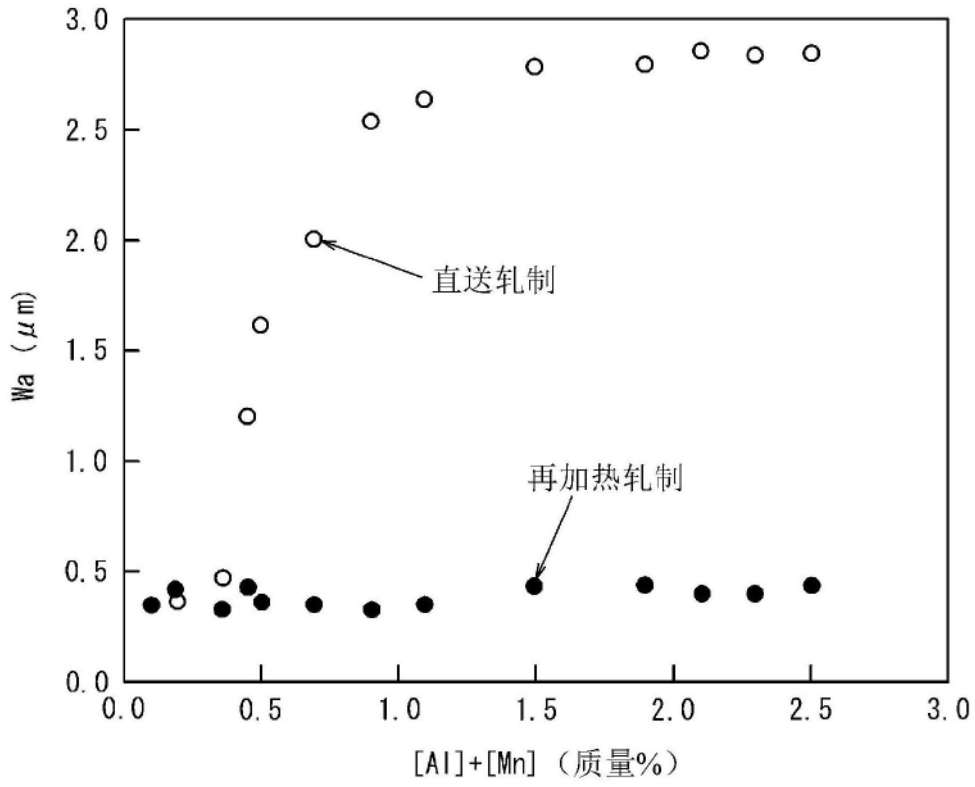


图1

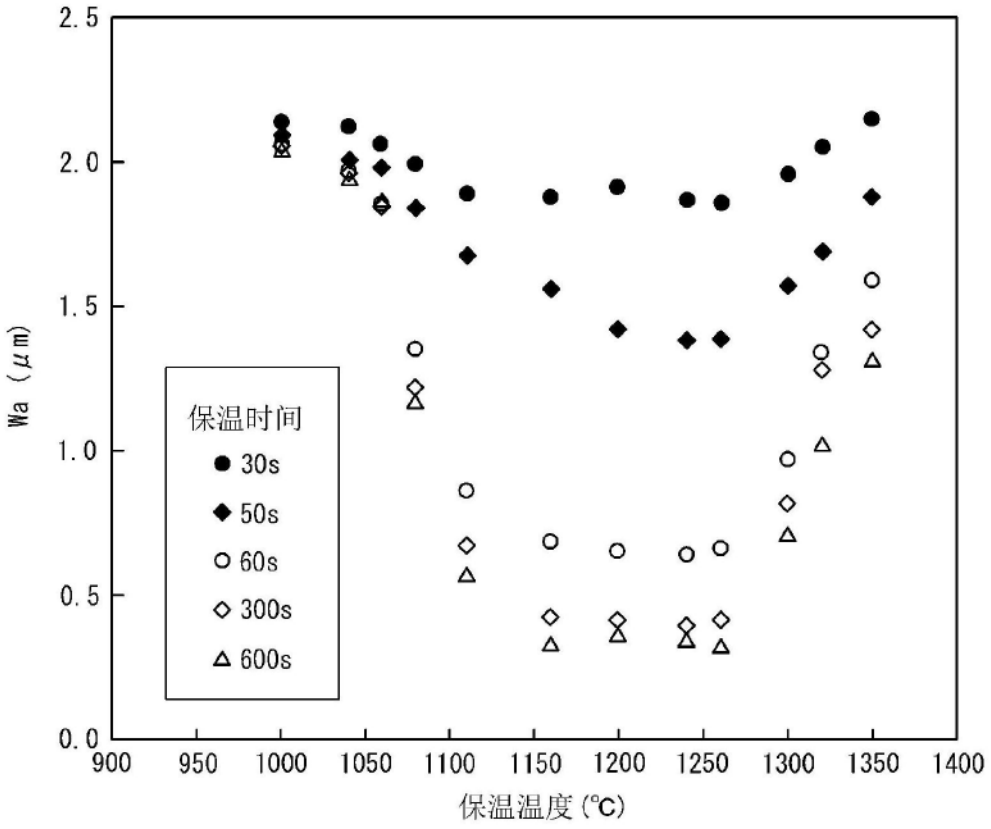

2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Wa (μm)
保温时间
30s
50s
60s
300s
600s
900
950
1000
1050
1100
1150
1200
1250
1300
1350
1400
保温温度(℃)

图2

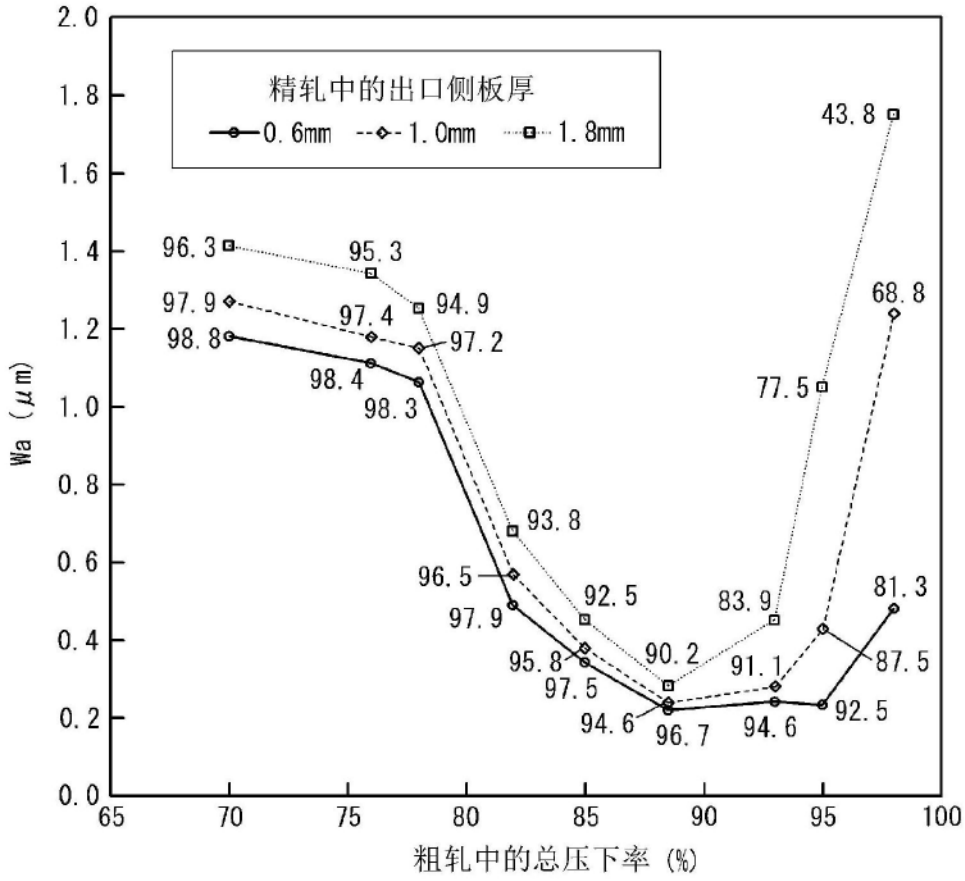

精轧中的出口侧板厚
0.6mm
1.0mm
1.8mm
Wa（μm）
粗轧中的总压下率（%）
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
65
70
75
80
85
90
95
100
96.3
95.3
94.9
97.9
97.4
97.2
98.8
98.4
98.3
93.8
96.5
92.5
97.9
95.8
97.5
94.6
96.7
90.2
83.9
91.1
94.6
92.5
77.5
43.8
68.8
87.5
81.3

图3