



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104011231 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 27

(21) 申请号 201280064470. 3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 12. 25

*G21D 8/12* (2006. 01)

(30) 优先权数据

*H01F 1/16* (2006. 01)

2011-286374 2011. 12. 27 JP

*B23K 15/00* (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

*B23K 26/082* (2014. 01)

2014. 06. 25

*G22C 38/00* (2006. 01)

*G22C 38/04* (2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

*G22C 38/60* (2006. 01)

PCT/JP2012/008267 2012. 12. 25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/099219 JA 2013. 07. 04

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 冈部诚司 高城重宏 木谷靖

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 丁香兰 庞东成

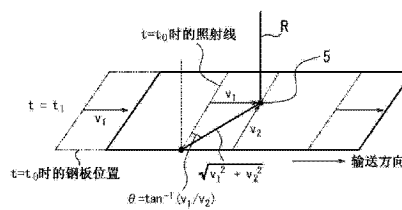
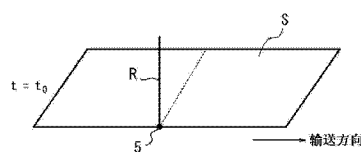
权利要求书1页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

取向性电磁钢板的铁损改善装置

(57) 摘要

本发明提出一种装置构成,该装置构成即使在取向性电磁钢板的送板速度变动的情况下,也可以利用激光、电子束等高能束照射切实地进行磁畴细化。本发明的铁损改善装置在横切最终退火后的取向性电磁钢板的输送路径的方向上扫描高能束从而对输送中的该钢板表面照射高能束,由此来进行磁畴细化,在与所述钢板输送方向成直角的方向上扫描所述高能束的照射机构具备如下功能:将该扫描方向定向为向输送方向倾斜、并相对于所述直角方向具有基于所述输送路径中的钢板的送板速度得到的角度。



1. 一种取向性电磁钢板的铁损改善装置,该铁损改善装置在横切最终退火后的取向性电磁钢板的输送路径的方向上扫描高能量束从而对输送中的该钢板表面照射高能量束,由此来进行磁畴细化,其特征在于,

在与所述钢板的输送方向成直角的方向上扫描所述高能量束的照射机构具备如下功能:将该扫描方向定向为向输送方向倾斜、并相对于所述直角方向具有基于所述输送路径中的钢板的送板速度得到的角度。

2. 如权利要求 1 所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,所述高能量束为激光束。

3. 如权利要求 2 所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,所述照射机构中激光束的扫描镜与所述钢板之间的光路长度为 300mm 以上。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,将所述激光束从振荡器传输至用于照射光束的光学系统的光纤的芯径为 0.1mm 以下。

5. 如权利要求 1 所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,所述高能量束为电子束。

6. 如权利要求 5 所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,所述照射机构中电子束的偏转线圈与所述钢板之间的距离为 300mm 以上。

## 取向性电磁钢板的铁损改善装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及铁损改善装置,其供于对取向性电磁钢板实施磁畴细化的处理而改善该取向性电磁钢板的铁损。

### 背景技术

[0002] 取向性电磁钢板主要用作变压器的铁芯,要求其磁化特性优异,尤其要求铁损低。

[0003] 为此,重要的是使钢板中的二次再结晶晶粒高度集中于(110)[001]取向(所谓的高斯取向)和降低产品钢板中的杂质。然而,控制晶体取向和降低杂质在与制造成本的均衡等方面存在极限。因此,开发了通过物理方法向钢板表面导入不均匀性(应变),使磁畴宽度细化而降低铁损的技术,即磁畴细化技术。

[0004] 例如专利文献1中提出了一种技术,其中,对最终产品板照射激光,向钢板表层导入线状高位错密度区域,使磁畴宽度变窄,由此降低钢板铁损。该使用激光照射的磁畴细化技术之后经过改良(参照专利文献2、专利文献3和专利文献4),能够得到铁损特性良好的取向性电磁钢板。

[0005] 作为用于进行这种激光照射的装置,需要在钢板的宽度方向(相对于轧制方向成直角的方向)上以线状照射激光束的功能,例如在专利文献5中公开了使用振镜的方法,并且在专利文献6中公开了使用旋转多面镜的方法。两种方法均在钢板的宽度方向以特定条件进行激光束扫描。

[0006] 另外,专利文献7中提出了通过照射电子束来控制磁畴宽度的技术。在该通过电子束照射降低铁损的方法中,电子束的扫描可以通过磁场控制从而高速进行。因此,不具有在激光束的光学扫描机构中所见到的那种机械式活动部,因而尤其有利于想要对1米以上的宽幅的连续钢带连续且高速地照射电子束的情况。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特公昭57-2252号公报

[0010] 专利文献2:日本特开2006-117964号公报

[0011] 专利文献3:日本特开平10-204533号公报

[0012] 专利文献4:日本特开平11-279645号公报

[0013] 专利文献5:日本特开昭61-48528号公报

[0014] 专利文献6:日本特开昭61-203421号公报

[0015] 专利文献7:日本特公平06-072266号公报

### 发明内容

[0016] 发明要解决的问题

[0017] 为了使用这些装置对取向性电磁钢板的钢带以相同条件且连续地照射激光束,需要使钢带的送板速度保持恒定,但在工业生产中,在进行激光照射的加工线的进料侧或出

料侧等处,为了交换卷材(卷取钢带而成)或对加工线内设备进行调整、检查,需要使钢带输送速度减慢,因此为了在进行激光照射的加工线中央部处实现恒定速度的送板,需要同时设置活套(looper)等大型设备。

[0018] 因此,本发明的目的在于提出一种装置构成,该装置构成即使在取向性电磁钢板的送板速度变动的情况下,也可以利用激光束、电子束等高能束照射切实地对取向性电磁钢板进行磁畴细化。

[0019] 用于解决问题的手段

[0020] 于是,近年来开发了半导体激光器、光纤激光器等控制性优异的激光振荡器,可以以高响应性容易地控制所激发的激光束的输出功率值和输出的开/关。因此,如果能提供可以灵活应对取向性电磁钢板的送板速度的变化的照射装置,则存在可以充分享用这些激光的特性,并且能够简化设备、提高操作自由度的优点。

[0021] 另外,在电子束的照射中,如果可以灵活应对取向性电磁钢板的送板速度的变化,也同样可以期望简化设备、提高操作的自由度。

[0022] 因此,本发明人研究了取向性电磁钢板的铁损降低装置的构成,该铁损降低装置可以容易地根据取向性电磁钢板的送板速度以任意间隔重复进行激光束、电子束等高能束照射,从而完成了本发明。

[0023] 即,本发明的主旨构成如下所述。

[0024] (1) 一种取向性电磁钢板的铁损改善装置,该铁损改善装置在横切最终退火后的取向性电磁钢板的输送路径的方向上扫描高能束从而对输送中的该钢板表面照射高能束,由此来进行磁畴细化,其特征在于,

[0025] 在与上述钢板的输送方向成直角的方向上扫描上述高能束的照射机构具备如下功能:将该扫描方向定向为向输送方向倾斜、并相对于上述直角方向具有基于上述输送路径中的钢板的送板速度得到的角度。

[0026] (2) 如上述(1)所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,上述高能束为激光束。

[0027] (3) 如上述(2)所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,上述照射机构中激光束的扫描镜与上述钢板之间的光路长度为300mm以上。

[0028] (4) 如上述(2)或(3)所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,将上述激光束从振荡器传输至用于照射光束的光学系统的光纤的芯径为0.1mm以下。

[0029] (5) 如上述(1)所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,上述高能束为电子束。

[0030] (6) 如上述(5)所述的取向性电磁钢板的铁损改善装置,其特征在于,上述照射机构中电子束的偏转线圈与上述钢板之间的距离为300mm以上。

[0031] 发明效果

[0032] 通过使用本发明的铁损改善装置对输送中的取向性电磁钢板进行激光照射,即使在送板速度变动的情况下,也可以利用激光照射切实地进行磁畴细化。因此,能够稳定地提供低铁损的取向性电磁钢板。

附图说明

- [0033] 图 1 为示意性地表示本发明中的铁损改善装置的图。
- [0034] 图 2 为表示本发明中的激光束的扫描要领的图。
- [0035] 图 3 为表示本发明中的铁损改善装置的主要部件的图。
- [0036] 图 4 为表示本发明中的另一种铁损改善装置的主要部件的图。
- [0037] 图 5 为表示本发明中的利用电子束的铁损改善装置的主要部件的图。

### 具体实施方式

[0038] 下面,参照附图,对本发明的铁损改善装置进行详细说明。

[0039] 图 1 中示出本发明的铁损改善装置的基本构成。如图 1 所示,该装置中,从开卷机 1 送出最终退火后的取向性电磁钢板(以下简称为钢板)S,在该钢板 S 通过支撑辊 2、2 之间的过程中,从激光照射机构 4 向钢板 S 上的激光照射部 5 照射激光束 R,进行磁畴细化。经过利用激光照射的磁畴细化后的钢板 S 被张力卷取机 6 卷取。需要说明的是,在附图示例中,符号 3 是测量辊,其用于测定支撑辊 2、2 之间的钢板 S 的送板速度。

[0040] 于是,为了利用激光照射对钢板 S 实施磁畴细化,对于在支撑辊 2、2 间输送的输送中的钢板 S,需要在与其轧制方向成直角的方向(以下称作轧制直角方向)上照射激光,并且必须对应于钢板 S 的送板速度而将激光照射定向为从轧制直角方向向输送方向倾斜。因此,在本发明的装置中,通过如下所示的激光的照射机构来实现跟随钢板 S 的输送的激光照射。

[0041] 首先,上述装置需要具备检测钢板 S 在激光照射部 5 处的送板速度的功能。具体来说,除了使用图示的测量辊 3 的检测方法之外,还可以采用张紧辊等的圆周速度与钢板的送板速度一致时由该辊的转速求出的方法、或根据开卷机、张力卷取机的转速和卷取卷材直径(实测或者计算值)求出的方法等。

[0042] 此处,下面对照射机构进行详细说明,如图 2A 中以虚线所示的那样,在钢板 S 的轧制直角方向上照射激光束 R 来实现磁畴细化时,照射机构用于在输送中的钢板 S 上切实地沿该钢板宽度方向(轧制直角方向)扫描激光束 R。即,如图 2B 中对输送中的钢板 S 照射激光束 R 时的扫描要领所示的那样,例如考虑到利用一台扫描机构在宽度方向的长度  $w$ (m) 上扫描激光束的情况时,若将钢板 S 的送板速度记为  $v_1$ (m/s)、并且将激光束在钢板的轧制直角方向上的扫描速度记为  $v_2$ (m/s),则为了在钢板 S 上切实地沿该钢板宽度方向(轧制直角方向)扫描激光束 R,在以速度  $v_2$ (m/s) 沿与钢板 S 的输送方向成直角的方向扫描激光束 R 的照射机构中附加以速度  $v_1$ (m/s) 沿输送方向扫描激光束 R 而使激光束 R 跟随钢板 S 的功能即可。

[0043] 需要说明的是,扫描一束激光束来进行照射的宽度方向的长度  $w$  受到激光振荡器的台数、一束射束扫描所需要的时间(由扫描速度  $v_2$ 、用于控制的计算时间、扫描镜的工作时间等决定)和在扫描区域的边缘处的射束形状变形的容许范围等制约,通常设计为 50mm ~ 500mm。

[0044] 另外,速度  $v_2$  按照对钢板赋予适于磁畴细化的应变分布的条件进行调整,但是,在脉冲激光的情况下由激光输出功率、照射点间隔和脉冲重复频率所决定,在连续激光的情况下由激光输出功率和束斑直径所决定。

[0045] 如此,以速度  $v_2$ (m/s) 沿与钢板 S 的输送方向成直角的方向扫描激光束 R,同时以

速度  $v_1$  (m/s) 跟随钢板 S 而沿输送方向进行扫描, 由此激光束 R 的方向被定向为向输送方向倾斜、并相对于与输送方向成直角的方向具有角度  $\theta = \tan^{-1}(v_1/v_2)$ 。

[0046] 例如除了沿与输送方向成直角的方向进行扫描的扫描镜之外, 靠近该镜配置振动 (摇头) 的镜或旋转多面镜, 所得到的照射机构也适合用于实现该激光束扫描的定向。即, 利用靠近扫描镜而配置的振镜或旋转多面镜以速度  $v_1$  (m/s) 沿输送方向扫描激光束 R。

[0047] 进一步, 对于在与输送方向成直角的方向进行扫描的照射机构而言, 也可以相对于其直角方向仅倾斜角度  $\theta = \tan^{-1}(v_1/v_2)$ 、同时将扫描速度控制为  $(v_1^2+v_2^2)^{1/2}$ , 由此进行处理。

[0048] 在任何实施方式中, 为了使激光的整个扫描区域均为同等的能量密度, 优选使束斑的扫描镜与钢板之间的光路长度为 300mm 以上。即, 若该光路长度短, 则例如会以倾斜角大的状态斜着对钢板的宽度方向端部照射光束, 因此照射得到的束斑形状相比于中央部从圆扩大面积至椭圆状。因此, 相比于在宽度方向中央部的照射, 在宽度方向端部的照射的能量密度降低, 因此是不优选的。因此, 上述光路长度优选为 300mm 以上。

[0049] 另一方面, 为了抑制因振动等导致的照射位置偏移、实现设置有助于确保安全性或清洁性的罩 (cover), 上述光路长度优选为 1200mm 以下。

[0050] 此处, 作为激光振荡器, 为了维持上述长的光路长度时的聚光性, 优选使用光纤激光器、盘型激光器、板条 CO<sub>2</sub> 激光器等可以激发出聚光性高的激光束的激光振荡器, 其振荡形式可以为脉冲振荡或连续振荡中任一种形式。特别是, 对于聚光性优异且可以得到能进行光纤传输的波长的激光束的单模光纤激光器这样的振荡器而言, 由于可以容易地适用芯径为 0.1mm 以下的传输光纤, 因此可以更适合地用于本发明中。

[0051] 利用激光照射得到的热应变可以为连续线状或虚线状中的任一种。该线状的应变导入区域以 2mm 以上且 20mm 以下的间隔在轧制方向上反复形成, 但其最佳间隔根据钢板的粒径、<001> 轴与轧制方向的偏离角进行调整。

[0052] 激光的优选照射条件如下: 例如 Yb 光纤激光器的情况下, 输出功率为 50W ~ 500W, 照射束斑直径为 0.1mm ~ 0.6mm, 在轧制直角方向按照 10m/s 以连续线状照射得到的照射线按照在轧制方向以 2mm ~ 10mm 间隔重复。

[0053] 上面, 作为高能束, 对于使用激光的情况进行了说明, 但是在照射电子束的情况下, 也与上述激光照射一样, 通过进行控制从而按照相对于与钢板的输送方向成直角的方向仅倾斜角度  $\theta$  的方式进行照射, 由此在输送速度任意变化时, 也可以维持恒定的照射模式。

[0054] 作为实现这种控制的装置, 下述照射机构是适合的: 该照射机构中, 对于提供使电子束在与钢板输送方向正交的方向上扫描的磁场的偏转线圈, 进一步组合有使电子束向钢板输送方向偏转的第二偏转线圈。

[0055] 进一步, 除了在与钢板输送方向成直角的方向上进行扫描的偏转线圈, 也可以使该偏转线圈相对于该直角方向仅倾斜角度  $\theta = \tan^{-1}(v_1/v_2)$ 、同时将扫描速度控制为  $(v_1^2+v_2^2)^{1/2}$ , 由此进行处理。此时, 也可以使安装有偏转线圈的电子枪整体仅倾斜角度  $\theta$ 。另外, 也可以使用通过以包围电子束方式卷绕的线圈施加与射束中心轴平行的磁场从而使射束的偏转方向旋转的方法、即所谓的利用旋转校正线圈来调整旋转角。

[0056] 在电子束照射中, 为了使电子束的整个扫描区域为同等的能量密度, 电子束的偏

转线圈与钢板之间的距离也优选为 300mm 以上。另一方面,从抑制束径扩大的观点出发,上述的偏转线圈与钢板之间的距离优选为 1200mm 以下。

[0057] 需要说明的是,本发明中作为改善铁损的对象取向性电磁钢板只要是以以往公知的取向性电磁钢板,就可以为任意种类,但是需要是最终退火和形成张力覆膜后的取向性电磁钢板。即,用于使作为取向性电磁钢板特征的高斯取向二次再结晶晶粒生长的最终退火、以及形成张力绝缘覆膜和张力效果的体现均需要高温下的热处理。然而,这样的高温处理会消除或减少导入钢板的应变,因此这些热处理需要在本发明的磁畴细化处理前实施。

[0058] 另外,对于实施磁畴细化处理后的取向性电磁钢板的铁损而言,二次再结晶晶粒的取向集聚越高则铁损越低。作为该取向集聚的指标,常用  $B_g$  (以 800A/m 进行磁化时的磁通密度),而对于适用本发明的装置的取向性电磁钢板而言,  $B_g$  优选为 1.88T 以上,更优选为 1.92T 以上。

[0059] 进一步,在电磁钢板的表面形成的张力绝缘覆膜可以为以往公知的张力绝缘覆膜,但是优选为以磷酸铝或磷酸镁和二氧化硅为主要成分的玻璃质的张力绝缘覆膜。

[0060] 如上所述,本发明是进行对取向性电磁钢板导入应变处理的装置,该取向性电磁钢板在二次再结晶退火后形成有张力绝缘覆膜,因此,对于坯料而言,遵循取向性电磁钢板的常规即可。例如可以使用含有 Si :2.0 质量%~8.0 质量%的电磁钢坯,限定该含有范围的理由如下所述。

[0061] Si :2.0 质量%~8.0 质量%

[0062] Si 是对于提高钢的电阻、改善铁损有效的元素,但是若含量小于 2.0 质量%,则无法实现充分的降低铁损效果;另一方面,若超过 8.0 质量%,则加工性显著下降,并且磁通密度也下降,因此 Si 量的范围优选为 2.0 质量%~8.0 质量%。

[0063] 进一步,对于 Si 以外的基本成分和可选添加成分进行描述,如下所述。

[0064] C :0.08 质量%以下

[0065] C 是为了改善热轧板组织而添加的,但是若超过 0.08 质量%,则在制造工序中难以将 C 降低至不引起磁时效的 50 质量 ppm 以下,因此优选为 0.08 质量%以下。需要说明的是,由于不含 C 的坯料也能够进行二次再结晶,因而不需要对下限进行特别设定。

[0066] Mn :0.005 质量%~1.0 质量%

[0067] Mn 是在使热加工性良好方面必要的元素,但是含量低于 0.005 质量%的情况下,其添加效果差;另一方面,若超过 1.0 质量%,则产品板的磁通密度下降,因此 Mn 量的范围优选为 0.005 质量%~1.0 质量%。

[0068] 此处,为了产生二次再结晶而利用抑制剂时,例如如果是利用 AlN 系抑制剂的情况则可以含有适量的 Al 和 N,并且如果是利用 MnS·MnSe 系抑制剂的情况则可以含有适量的 Mn 与 Se 和 / 或 S。当然,也可以合用两种抑制剂。此时的 Al、N、S 和 Se 的适宜含量分别为 Al :0.01 质量%~0.065 质量%、N :0.005 质量%~0.012 质量%、S :0.005 质量%~0.03 质量%、Se :0.005 质量%~0.03 质量%。

[0069] 进一步,本发明也可以适用于限制了 Al、N、S、Se 的含量、且没有使用抑制剂的取向性电磁钢板。

[0070] 此时,Al、N、S 和 Se 量优选分别抑制为 Al :100 质量 ppm 以下、N :50 质量 ppm 以下、S :50 质量 ppm 以下、Se :50 质量 ppm 以下。

[0071] 除了上述基本成分以外,作为磁特性改善成分,可以适当含有如下所述的元素:

[0072] Ni :0.03 质量%~1.50 质量%、Sn :0.01 质量%~1.50 质量%、Sb :0.005 质量%~1.50 质量%、Cu :0.03 质量%~3.0 质量%、P :0.03 质量%~0.50 质量%、Mo :0.005 质量%~0.10 质量%和 Cr :0.03 质量%~1.50 质量%中选出的至少 1 种。

[0073] Ni 是对于改善热轧板组织从而提高磁特性有用的元素。然而,含量低于 0.03 质量%的情况下,提高磁特性的效果小;另一方面,若超过 1.5 质量%,则二次再结晶变得不稳定,磁特性变差。因此,Ni 量的范围优选为 0.03 质量%~1.5 质量%。

[0074] 另外,Sn、Sb、Cu、P、Cr 和 Mo 分别是对于提高磁特性有用的元素,但是若均低于上述各成分的下限时,提高磁特性的效果小;另一方面,若超过上述各成分的上限量,则二次再结晶晶粒的扩展受到阻碍,因此优选分别按照上述范围含有上述各成分。

[0075] 需要说明的是,上述成分以外的其余部分是 Fe 和在制造工序中混入的不可避免的杂质。

[0076] 实施例 1

[0077] 从最终退火后涂布 / 烧结了张力绝缘覆膜的板厚为 0.23mm 且宽度为 300mm 的取向性电磁钢板的卷材拉出钢板,将钢板连续地送入图 1 的铁损改善装置,同时对该钢板连续地照射激光。

[0078] 此处,如图 3 所示,作为铁损改善装置的主要部件的激光照射机构包含 2 枚振镜(检流计镜)9 和 10 以及  $f\theta$  透镜 11,所述振镜 9 和 10 使通过准直器 8 而调整为平行光的激光束分别沿钢板 S 的宽度方向和轧制方向进行扫描。即,所进行的操作如下:通过作为前者的镜 9 使束斑以恒定速度沿宽度方向进行扫描,同时通过作为后者的镜 10 而将激光束定向为按照相对于宽度方向具有由送板速度算出的特定角度的方式向输送方向倾斜。

[0079] 激光振荡器 7 为单模 Yb 光纤激光器,经由芯径为 0.05mm 的传输光纤 F 将激光束导光至准直器 8,将通过准直器 8 后的束径调整为 8mm,将钢板上的束径调整为 0.3mm 的圆形。 $f\theta$  透镜 11 的焦距为 400mm,从最初的检流计镜至钢板的光路长度为 520mm。

[0080] 取向性电磁钢板为普通的高取向性的取向性电磁钢板,含有 3.4 质量%的 Si,800A/m 时的磁通密度 ( $B_8$ ) 为 1.935T 和 1.7T、50Hz 时的铁损 ( $W_{17/50}$ ) 为 0.90W/kg;张力绝缘覆膜是普通的张力绝缘覆膜,其是通过在镁橄榄石覆膜上对由胶态二氧化硅、磷酸镁、铬酸构成的药液在 840°C 进行烧结而得到的。

[0081] 在该照射机构中,使激光输出功率为 100W,使射线间隔为 5mm,使束斑以  $v_2 = 10\text{m/s}$  在宽度方向上反复进行扫描。为了在输送方向上取消(キャンセル)用测量辊 3 测定的送板速度  $v_1$ ,按照为与照射时的送板速度  $v_1$  相同速度的方式进行控制,由此来进行扫描。使送板速度  $v_1$  在 5m/分钟至 15m/分钟之间的任意速度内进行加速、减速,但是射线的角度与钢板宽度方向一致,钢板的铁损特性未产生变动。

[0082] 实施例 2

[0083] 从最终退火后涂布烧结了张力绝缘覆膜的板厚为 0.23mm 且宽度为 300mm 的取向性电磁钢板的卷材拉出钢板,将钢板连续地送入图 1 的铁损改善装置,同时对该钢板连续地照射激光。

[0084] 此处,如图 4 所示,作为铁损改善装置的主要部件的激光照射机构包含 1 枚振镜(检流计镜)9、旋转台 12 及其电动机 13、以及  $f\theta$  透镜 11,所述振镜 9 使通过准直器 8 而



调整为平行光的射束沿钢板的宽度方向进行扫描,旋转台 12 使该镜的扫描方向从宽度方向朝向任意角度变化。即,所进行的操作如下:通过作为前者的镜 9 使束斑以恒定速度沿宽度方向进行扫描,同时通过作为后者的旋转台 12 而将激光束定向为按照相对于宽度方向具有由送板速度算出的特定角度的方式向输送方向倾斜。

[0085] 激光振荡器 7 为单模 Yb 光纤激光器,经由芯径为 0.05mm 的传输光纤 F 将激光束导光至准直器 8,将通过准直器 8 后的束径调整为 8mm,将钢板上的束径调整为 0.3mm 的圆形。 $f\theta$  透镜 11 的焦距为 400mm,从最初的检流计镜至钢板的光路长度为 520mm。

[0086] 取向性电磁钢板为普通的高取向性的取向性电磁钢板,含有 3.4 质量%的 Si,800A/m 时的磁通密度 ( $B_g$ ) 为 1.935T 和 1.7T、50Hz 时的铁损 ( $W_{17/50}$ ) 为 0.90W/kg,张力绝缘覆膜是普通的张力绝缘覆膜,其是通过在镁橄榄石覆膜上对由胶态二氧化硅、磷酸镁、铬酸构成的药液在 840°C 进行烧结而得到的。

[0087] 在该照射机构中,使激光输出功率为 100W,使射线间隔为 5mm,使束斑以  $v_2 = 10\text{m/s}$  在宽度方向上反复进行扫描。为了在输送方向上取消用测量辊 3 测定的送板速度  $v_1$ ,按照为与照射时的送板速度  $v_1$  相同速度的方式进行控制,由此来进行扫描。使送板速度  $v_1$  在 5m/分钟至 15m/分钟之间的任意速度内进行加速、减速,但是射线的角度与钢板宽度方向一致,钢板的铁损特性未产生变动。

[0088] 实施例 3

[0089] 从最终退火后涂布烧结了张力绝缘覆膜的板厚为 0.23mm 且宽度为 300mm 的取向性电磁钢板的卷材拉出钢板,将钢板连续地送入图 5 中所示的铁损改善装置,同时对该钢板连续地照射电子束。

[0090] 此处,如图 5 所示,作为铁损改善装置的主要部件的电子束照射机构包含 2 个偏转线圈 15 和 16,所述偏转线圈 15 和 16 分别使电子束沿钢板 S 的宽度方向和轧制方向进行扫描。即,所进行的操作如下:通过作为前者的偏转线圈 15 进行控制以使束斑以恒定速度沿钢板的宽度方向进行扫描,同时通过作为后者的偏转线圈 16 而将束斑定向为按照相对于宽度方向具有由送板速度算出的特定角度的方式向输送方向倾斜。

[0091] 电子枪 14 可以以加速电压 60kV 在电子枪正下方以正焦的方式使束径会聚至直径 0.2mm。从偏转线圈 16 至钢板的距离为 500mm。

[0092] 取向性电磁钢板为普通的高取向性的取向性电磁钢板,含有 3.4 质量%的 Si,800A/m 时的磁通密度 ( $B_g$ ) 为 1.935T 和 1.7T、50Hz 时的铁损 ( $W_{17/50}$ ) 为 0.90W/kg,张力绝缘覆膜是普通的张力绝缘覆膜,其是通过在镁橄榄石覆膜上对由胶态二氧化硅、磷酸镁、铬酸构成的药液在 840°C 进行烧结而得到的。

[0093] 在该照射机构中,使束电流为 10mA,使射线间隔为 5mm,使束斑以  $v_2 = 10\text{m/s}$  在宽度方向上反复进行扫描。为了在输送方向上取消用测量辊 3 测定的送板速度  $v_1$ ,按照为与照射时的送板速度  $v_1$  相同速度的方式进行控制,由此来进行扫描。使送板速度  $v_1$  在 5m/分钟至 15m/分钟之间的任意速度内进行加速、减速,但是射线的角度与钢板宽度方向一致,钢板的铁损特性未产生变动。

[0094] 符号说明

[0095] S 钢板

[0096] R 激光束

- [0097] F 传输光纤
- [0098] E 电子束
- [0099] 1 开卷机
- [0100] 2 支撑辊
- [0101] 3 测量辊
- [0102] 4 照射机构
- [0103] 5 激光照射部
- [0104] 6 张力卷取机
- [0105] 7 激光振荡器
- [0106] 8 准直器
- [0107] 9 轧制方向扫描检流计镜
- [0108] 10 宽度方向扫描检流计镜
- [0109] 11f $\theta$  透镜
- [0110] 12 角度改变用台
- [0111] 13 角度改变电动机
- [0112] 14 电子枪
- [0113] 15 偏转线圈（钢板宽度方向控制）
- [0114] 16 偏转线圈（钢板输送方向控制）
- [0115] 17 真空腔

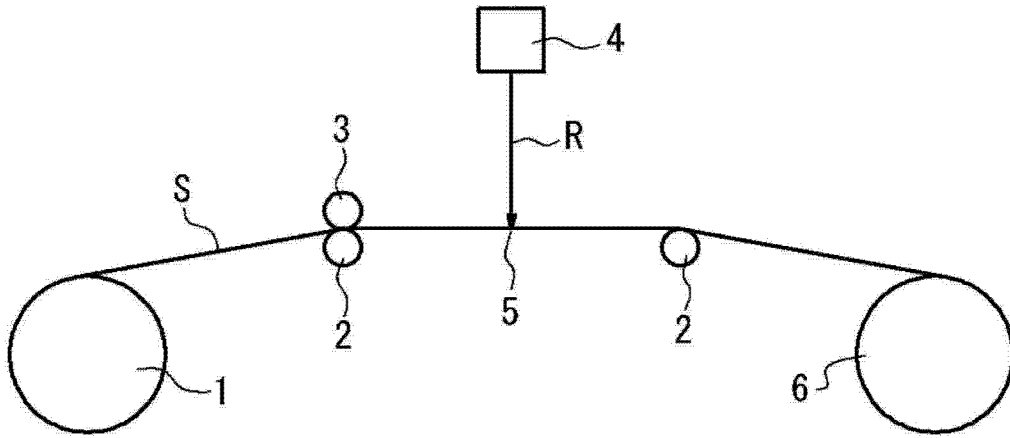


图 1

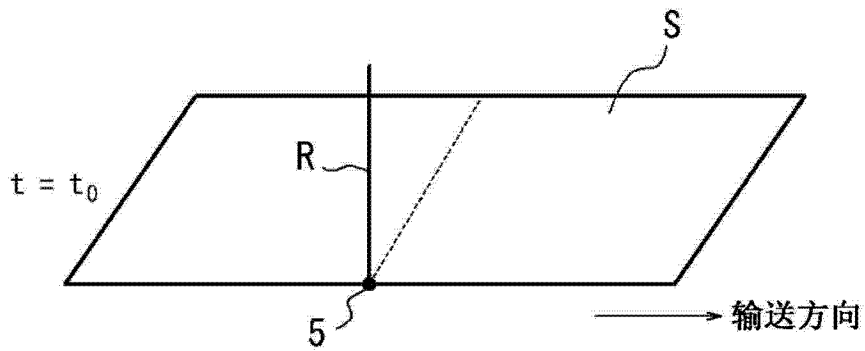


图 2A

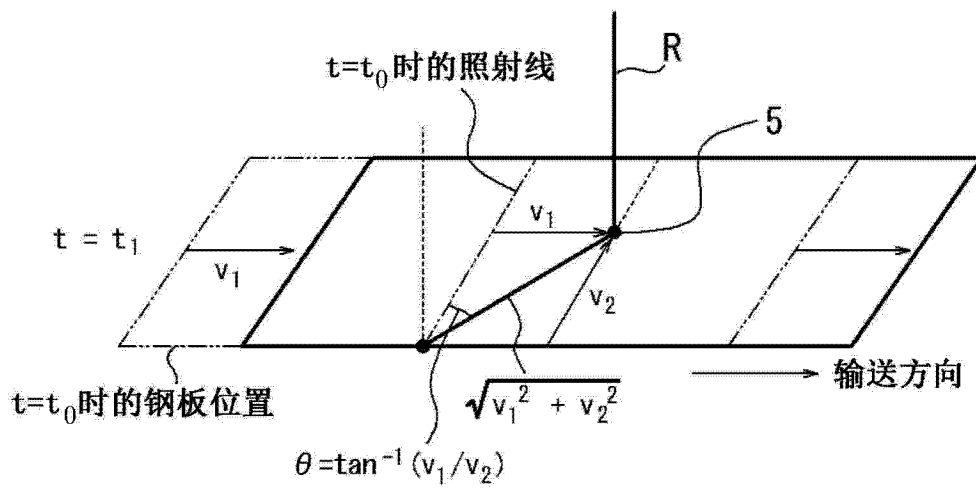


图 2B

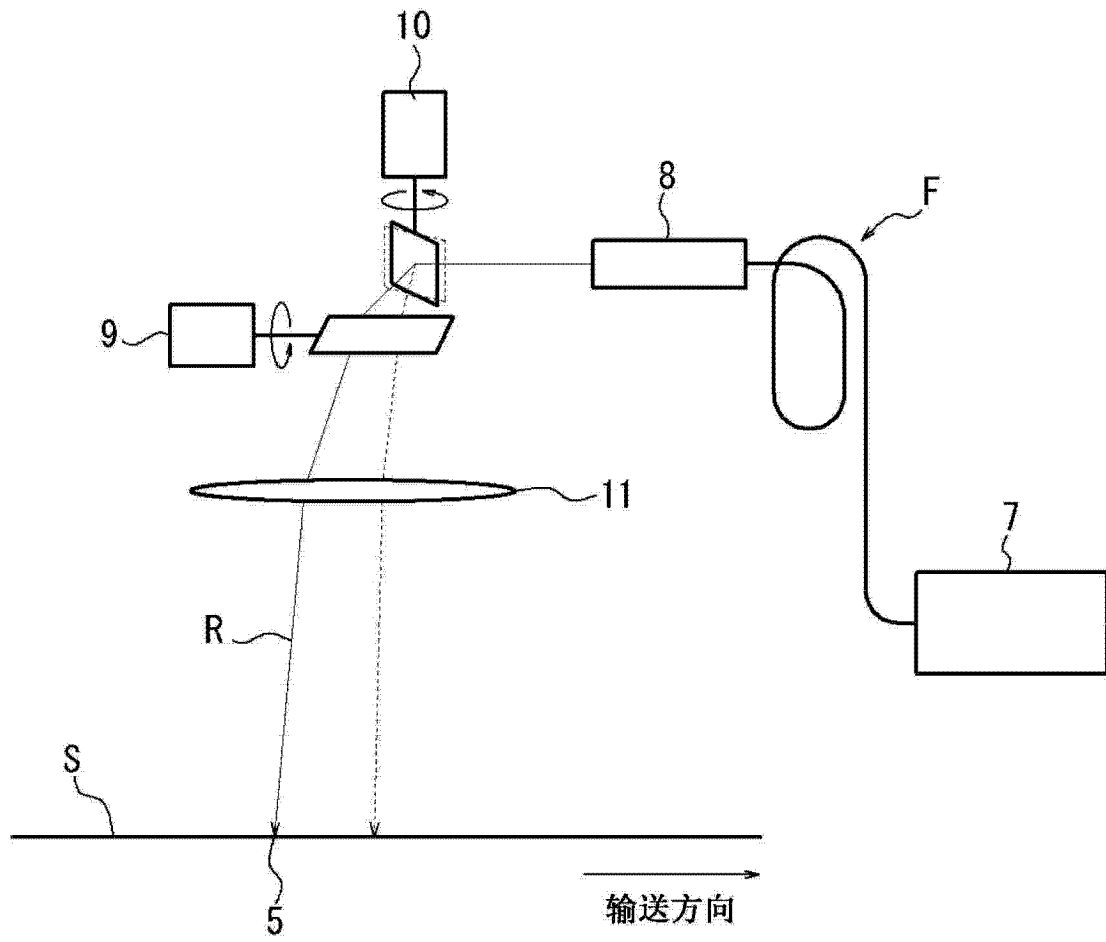


图 3

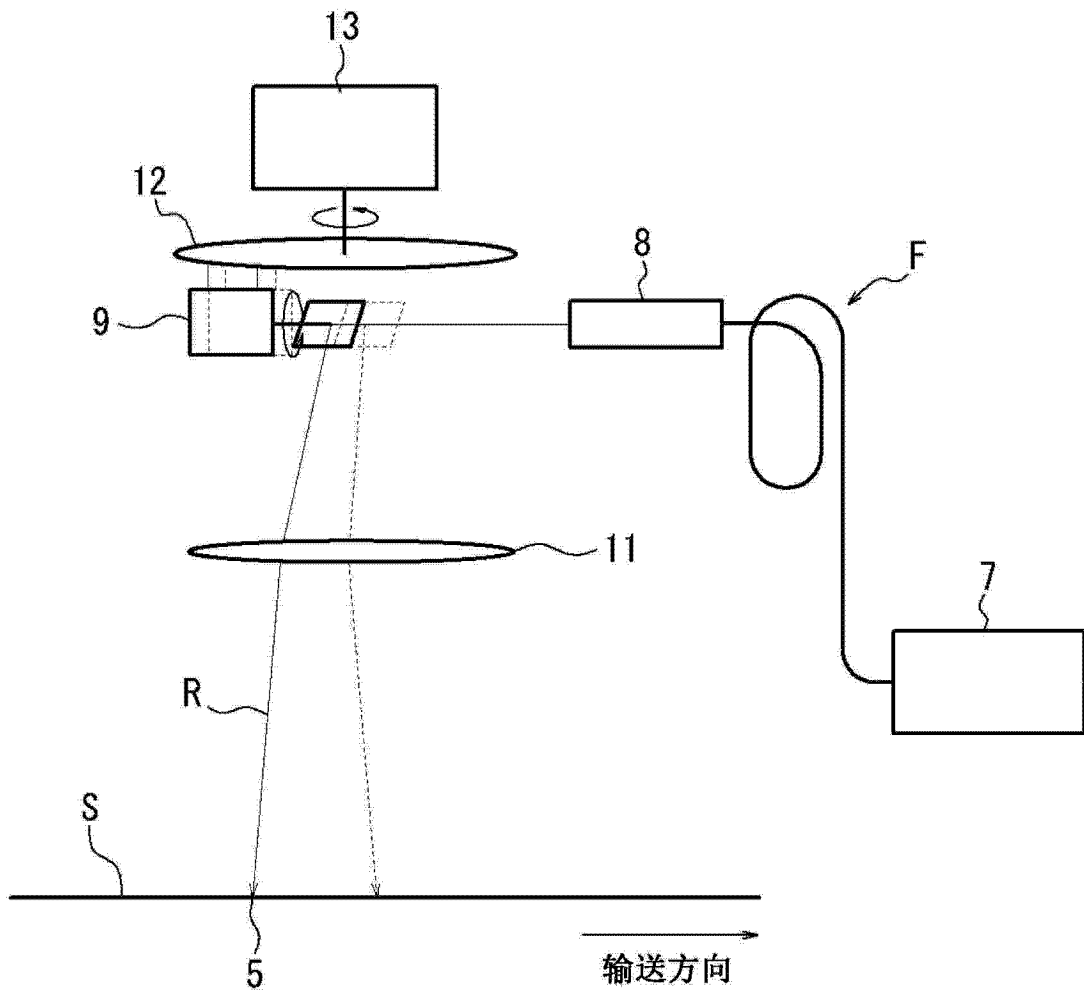


图 4

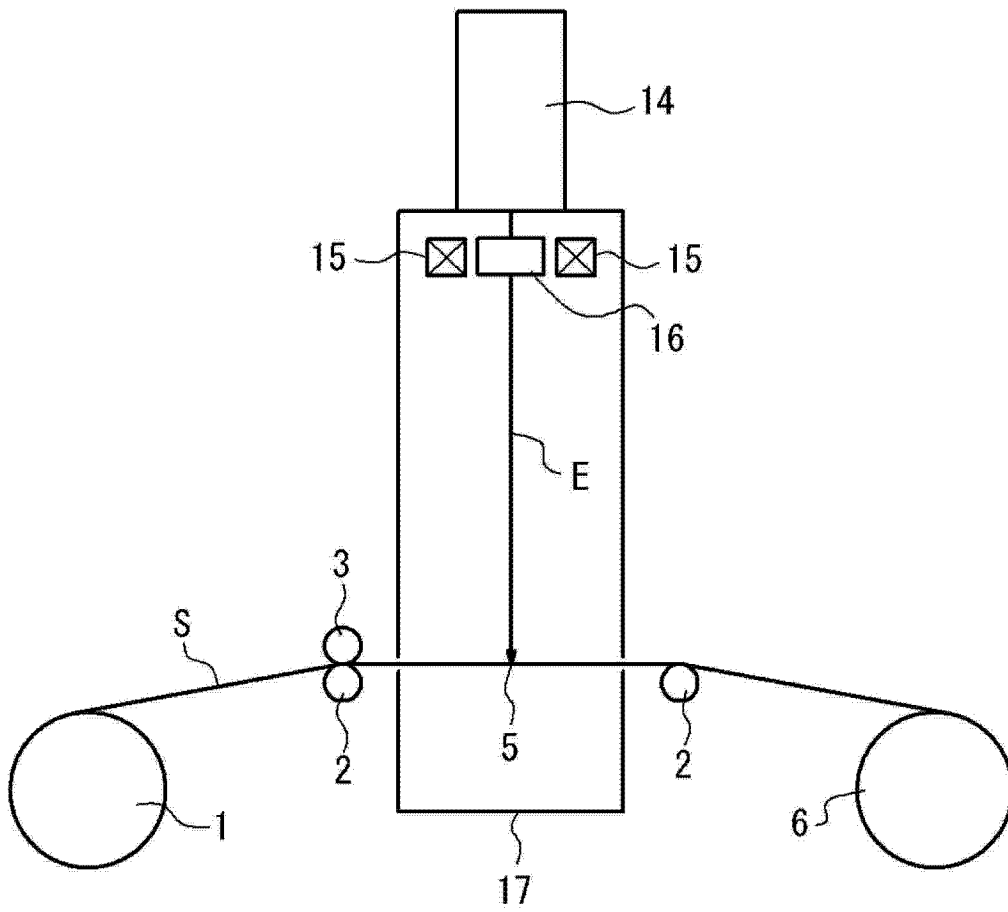


图 5