



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110177891 A

(43)申请公布日 2019.08.27

(21)申请号 201780080067.2

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

(22)申请日 2017.12.11

代理人 崔龙铉 太香花

(30)优先权数据

10-2016-0178413 2016.12.23 KR

10-2017-0104846 2017.08.18 KR

(51)Int.Cl.

G21D 10/00(2006.01)

G21D 8/12(2006.01)

B23K 26/364(2006.01)

H01F 1/16(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.06.24

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2017/014457 2017.12.11

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/117510 KO 2018.06.28

(71)申请人 POSCO公司

地址 韩国庆尚北道

(72)发明人 李圭泽 李柱昇 洪盛喆

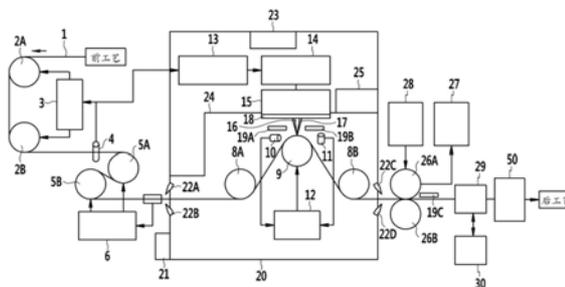
权利要求书3页 说明书20页 附图7页

(54)发明名称

取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置

(57)摘要

本发明提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法,该方法包含:支撑沿生产线前行的钢板并控制所述钢板的上下方向位置的钢板支撑辊位置调整步骤;向钢板表面照射激光束使所述钢板熔化以在钢板表面形成沟槽的激光照射步骤;以及检测钢板前行过程中形成在钢板表面上的沟槽是否存在缺陷的检测步骤,以通过准确地确认操作过程中形成在钢板表面上的磁畴细化沟槽的加工状态,可以检测出沟槽是否存在缺陷。



1. 一种取向电工钢板的磁畴细化方法,所述方法包含:
支撑沿生产线前行的钢板并控制所述钢板的上下方向位置的钢板支撑辊位置调整步骤;
向钢板表面照射激光束使所述钢板熔化以在钢板表面形成沟槽的激光照射步骤;以及
检测钢板前行过程中形成在钢板表面上的沟槽是否存在缺陷的检测步骤。
2. 根据权利要求1所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,所述方法还包含:
根据所述检测步骤中检测出的结果调整相对于钢板的激光焦点位置的矫正步骤。
3. 根据权利要求2所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,
所述矫正步骤包含:将正常状态的沟槽深度设定为参考值的步骤;将检测出的沟槽深度与
所述参考值进行比较的演算步骤;以及根据所述演算步骤中检测出的沟槽深度偏差调整
钢板支撑辊位置或聚光镜位置以调整相对于钢板的焦点位置的位置调整步骤。
4. 根据权利要求3所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,
所述位置调整步骤包含:确认实际沟槽深度与参考值的偏差,当偏差大于等于 $2\mu\text{m}$ 时,
将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着上下方向中的任一方向调整设定值的初调步骤;将初
调后检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差小于 $2\mu\text{m}$ 且大于
等于 $1\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着与初调时相同的方向调整设定值的补调
步骤;将初调后检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差大于
等于 $2\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着初调时的反方向调整设定值的反向调整
步骤;以及将反向调整后检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算,当演算出的深度
偏差小于 $2\mu\text{m}$ 且大于等于 $1\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着与反向调整时相同
的方向调整设定值的反向补调步骤。
5. 根据权利要求2所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,
所述矫正步骤还包含在工艺初期设定钢板支撑辊位置或聚光镜位置的初始位置设定
步骤。
6. 根据权利要求5所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,
所述初始位置设定步骤包含:根据所设定的时间间隔改变钢板支撑辊位置的步骤;检
测基于所述钢板支撑辊位置变化的沟槽深度变化的步骤;通过钢板支撑辊位置和基于该
位置的沟槽深度数据演算出沟槽深度最深时的钢板支撑辊位置的步骤;以及根据演算出
的值调整钢板支撑辊位置或照射激光的聚光镜位置的步骤。
7. 根据权利要求1至6中任何一项所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,
所述检测步骤是通过漏磁通检测法检测钢板的沟槽。
8. 根据权利要求7所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,
所述检测步骤包含:对钢板表面施加磁力使其磁化的步骤;检测出因沟槽而形成的漏
磁通的步骤;以及对检测出的漏磁通进行演算以确认沟槽缺陷的步骤。
9. 根据权利要求7所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,
在所述激光照射步骤中,针对与钢板支撑辊表面形成圆弧状接触而前行的钢板的表
面,以激光束照射方向经过钢板支撑辊中心轴时的激光束照射位置为参考点,将激光束照
射在从所述参考点距离自钢板支撑辊中心沿外周面隔开的角度的位置上。
10. 根据权利要求9所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,

在所述激光照射步骤中,在相对于所述参考点自钢板支撑辊中心沿外周面隔开 3° 至 7° 的范围内照射激光束。

11. 根据权利要求7所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,

所述激光照射步骤还包含将照射到钢板表面的激光束的照射线角度进行变换的角度变换步骤。

12. 根据权利要求11所述的取向电工钢板的磁畴细化方法,其中,

在所述角度变换步骤中,将激光束的照射线角度相对于钢板的宽度方向变换成 $\pm 4^{\circ}$ 的范围。

13. 一种取向电工钢板的磁畴细化装置,所述装置包含:

钢板支撑辊位置调整设备,用于支撑沿生产线移动的钢板并控制钢板的上下方向位置;

激光照射设备,用于照射激光束使钢板熔化,以在所述钢板的表面上形成沟槽;以及检测单元,用于通过确认形成在钢板表面上的沟槽的状态来检测沟槽是否存在缺陷。

14. 根据权利要求13所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,所述装置包含:

矫正单元,用于根据由所述检测单元检测出的结果来调整针对钢板的激光焦点位置。

15. 根据权利要求14所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,

所述钢板支撑辊位置调整设备包含:钢板支撑辊位置控制系统,用于按照所述激光照射设备的激光照射位置来控制支撑钢板的钢板支撑辊的位置,

所述矫正单元与所述钢板支撑辊位置控制系统连接,用于根据所述检测单元的信号控制钢板支撑辊位置控制系统。

16. 根据权利要求13所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,

所述激光照射设备具有如下结构:针对与钢板支撑辊表面形成圆弧状接触而前行的钢板的表面,以激光束照射方向经过钢板支撑辊中心轴时的激光束照射位置为参考点,将激光束照射在从所述参考点距离自钢板支撑辊中心沿外周面隔开的角度的位置上。

17. 根据权利要求13所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,其中,

所述激光照射设备的光学系统具有通过驱动单元可旋转的结构,所述光学系统相对于钢板旋转,从而针对钢板的宽度方向变换激光束的照射线角度。

18. 根据权利要求13至17中任何一项所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,其中,

所述检测单元包含:绝缘辊,用于支撑移动的钢板;

漏磁通测定单元,所述漏磁通测定单元包含对经过绝缘辊的钢板表面施加磁力使其磁化的磁化器和与所述钢板隔开设置并测定钢板上所形成的沟槽漏磁场的磁传感器;以及控制单元,用于通过对所述磁传感器的输出信号进行演算来确认沟槽是否存在缺陷。

19. 根据权利要求18所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,其中,

所述控制单元包含:信号转换单元,用于将由磁传感器检测出的漏磁场信号转换成沟槽的尺寸信号;以及演算单元,用于将已设定的正常状态的沟槽尺寸参考值与从信号转换单元输出的沟槽尺寸实际值进行比较演算,以判断有无缺陷。

20. 根据权利要求19所述的取向电工钢板的磁畴细化装置,其中,

所述演算单元具有将已设定的正常状态的沟槽间距参考值与从信号转换单元输出的沟槽间距实际值进行比较演算以判断有无缺陷的结构。

21. 根据权利要求19所述的取向电工钢板的磁畴细化装置，
所述控制单元还包含：设备控制单元，用于根据演算单元的输出信号控制设备的驱动。
22. 根据权利要求18所述的取向电工钢板的磁畴细化装置，其中，
所述检测单元还包含：驱动单元，用于调整所述漏磁通测定单元和钢板之间的间距。

取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种通过向取向电工钢板照射激光对钢板的磁畴进行永久性细化处理的取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置。

背景技术

[0002] 为了降低变压器等电气设备的功率损耗以及提高效率,需要一种具有铁损低以及磁通密度高的磁性能的取向电工钢板。

[0003] 为了减少取向电工钢板的铁损公开了一种技术,通过机械方法或照射激光束沿着相对于轧制方向的垂直方向对钢板表面进行磁畴细化,从而减少铁损。

[0004] 磁畴细化方法根据去应力退火后是否维持磁畴细化改善效果大致分为临时磁畴细化和永久磁畴细化。

[0005] 临时磁畴细化方法的缺点是去应力退火后失去磁畴细化效果。临时磁畴细化方法通过在钢板表面形成局部性压缩应力部使磁畴细化。然而,这种方法会导致钢板表面的绝缘涂层损坏,因此需要进行再涂覆,并且磁畴细化处理不是针对最终产品,而是在中间工艺实施,因此制造成本高。

[0006] 对于永久磁畴细化方法,在热处理后也能维持铁损改善效果。为了永久磁畴细化处理,主要采用利用蚀刻加工法、辊加工法或激光加工法的技术。对于蚀刻加工法,存在难以控制沟槽形成深度或宽度、难以确保最终产品的铁损特性、使用酸溶液不环保的缺点。对于辊加工法,存在对机械加工的稳定性、可靠性及工艺性复杂的缺点。

[0007] 对于利用激光对钢板进行永久磁畴细化的加工法,在支撑钢板并调整张力的状态下,向钢板的表面照射激光束,以在钢板表面形成熔融沟槽,从而可使磁畴细化。如此,利用激光实施磁畴细化时,需要对工艺进行更有效地改善和优化,以便可以实现高速处理,并降低电工钢板的铁损以及提高磁通密度。

发明内容

[0008] (一)要解决的技术问题

[0009] 本发明旨在提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置,对设备和工艺进行优化,以提高磁畴细化效率以及改善操作性,使得能够扩大处理能力。

[0010] 本发明旨在提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置,以通过准确地确认操作过程中形成在钢板表面上的磁畴细化沟槽的加工状态,可以检测出沟槽是否存在缺陷。

[0011] 本发明旨在提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置,以便能够对钢板表面上所形成的磁畴细化沟槽的加工状态进行优化。

[0012] 本发明旨在提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置,以便能够在确认磁畴细化沟槽的加工状态后直接反映到设备上。

[0013] 本发明旨在提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置,以便能够通过缩短

设备初始设定所需时间来提高生产性。

[0014] 由此,本发明旨在提供一种取向电工钢板的磁畴细化方法及其装置,以便能够使设备总是以最佳状态运行,并迅速地矫正修复细化沟槽的缺陷。

[0015] (二)技术方案

[0016] 本示例性实施方案的磁畴细化方法可包含:支撑沿生产线前行的钢板并控制所述钢板的上下方向位置的钢板支撑辊位置调整步骤;向钢板表面照射激光束使所述钢板熔化以在钢板表面形成沟槽的激光照射步骤;以及检测钢板前行过程中形成在钢板表面上的沟槽是否存在缺陷的检测步骤。

[0017] 所述检测步骤可包含检测出钢板上所形成的沟槽尺寸的步骤。

[0018] 所述检测步骤还可包含检测出钢板上所形成的沟槽形成间距的步骤。

[0019] 所述检测步骤可通过漏磁通检测法对钢板的沟槽进行检测。

[0020] 所述检测步骤可包含:对钢板表面施加磁力使其磁化的步骤;检测出因沟槽而形成的漏磁通的步骤;对检测出的漏磁通进行演算以确认沟槽缺陷的步骤。

[0021] 所述磁畴细化方法还可包含根据所述检测步骤中检测出的结果调整相对于钢板的激光焦点位置的矫正步骤。

[0022] 所述矫正步骤可包含:将正常状态的沟槽深度设定为参考值的步骤;将检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较的演算步骤;根据所述演算步骤中检测出的沟槽深度偏差调整钢板支撑辊位置或聚光镜位置以调整相对于钢板的焦点位置的位置调整步骤。

[0023] 所述位置调整步骤可包含:确认实际沟槽深度与参考值的偏差,当偏差大于等于 $2\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着上下方向中的任一方向调整设定值的初调步骤;将初调后检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差小于 $2\mu\text{m}$ 且大于等于 $1\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着与初调时相同的方向调整设定值的补调步骤;将初调后检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差大于等于 $2\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着初调时的反方向调整设定值的反向调整步骤;将反向调整后检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差小于 $2\mu\text{m}$ 且大于等于 $1\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊位置或聚光镜位置沿着与反向调整时相同的方向调整设定值的反向补调步骤。

[0024] 所述矫正步骤还可包含在工艺初期设定钢板支撑辊位置或聚光镜位置的初始位置设定步骤。

[0025] 所述初始位置设定步骤可包含:根据所设定的时间间隔改变钢板支撑辊位置的步骤;检测基于所述钢板支撑辊位置变化的沟槽深度变化的步骤;通过钢板支撑辊位置和基于该位置的沟槽深度数据演算出沟槽深度最深时的钢板支撑辊位置的步骤;根据演算出的值调整钢板支撑辊位置或照射激光的聚光镜位置的步骤。

[0026] 在所述激光照射步骤中,针对与钢板支撑辊表面形成圆弧状接触而前行的钢板的表面,以激光束照射方向经过钢板支撑辊中心轴时的激光束照射位置为参考点,可将激光束照射在从所述参考点距离自钢板支撑辊中心沿外周面隔开的角度的位置上。

[0027] 在所述激光照射步骤中,可在相对于所述参考点自钢板支撑辊中心沿外周面隔开 3° 至 7° 的范围内照射激光束。

[0028] 所述磁畴细化方法还可包含设置及维持执行激光照射的激光室的内部操作环境

的设置维持步骤。

[0029] 所述磁畴细化方法还可包含提供张力给所述钢板使所述钢板维持平展状态的张力控制步骤。

[0030] 所述磁畴细化方法还可包含使钢板沿生产线中央移动不会左右偏向的蛇行控制步骤。

[0031] 所述设置维持步骤可包含将激光室内部与外部隔离以阻挡外部污染物进入内部的步骤;以及控制激光室内部温度和压力及湿度的步骤。

[0032] 所述磁畴细化方法还可包含用于清除经激光照射步骤形成在所述钢板表面上的隆起(hill up)和飞溅物(spatter)的后处理步骤。

[0033] 所述后处理步骤可包含用刷辊清除附着在钢板表面上的隆起和飞溅物的刷除步骤。

[0034] 所述后处理步骤还可包含:将钢板与碱液进行电解反应以进一步清除残留在钢板表面上的隆起和飞溅物的清洁步骤;以及将清洁步骤中从钢板清除而包含在碱液中的异物从碱液滤除的过滤步骤。

[0035] 所述蛇行控制步骤可包含:测定钢板的宽度中央位置从生产线中央偏离的蛇行量的蛇行量测定步骤;以及根据所述蛇行量测定步骤中测定出的钢板的蛇行量使转向辊(Steering Roll)的轴旋转及移动以调整钢板移动的方向控制钢板的蛇行量的蛇行量控制步骤。

[0036] 所述蛇行量控制步骤可将钢板的蛇行量控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。

[0037] 所述张力控制步骤可包含:通过张紧辊(Tension Bridle Roll)对钢板施加张力的钢板张力施加步骤;用于测定实施所述钢板张力施加步骤的所述钢板的张力的钢板张力测定步骤;以及根据所述钢板张力测定步骤中测定出的钢板的张力来调整所述张紧辊的速度以控制钢板张力的钢板张力控制步骤。

[0038] 所述钢板支撑辊位置调整步骤可包含:将位于所述激光照射步骤的钢板用钢板支撑辊支撑的钢板支撑步骤;测定所述激光照射步骤中向钢板照射激光时产生的火花的亮度的亮度测定步骤;以及根据所述亮度测定步骤中测定出的火花亮度通过钢板支撑辊位置控制系统调整钢板支撑辊的位置以控制成钢板位于激光的焦深(Depth of Focus)内的钢板支撑辊位置控制步骤。

[0039] 所述激光照射步骤可包含激光照射及能量传递步骤,该步骤通过接收从激光振荡器照射的激光束的光学系统将激光束照射在钢板表面上,以形成上部宽度、下部宽度及深度各自为 $70\mu\text{m}$ 以内、 $10\mu\text{m}$ 以内、 $3\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 的沟槽,同时将钢板熔化所需的 $1.0\text{J}/\text{mm}^2$ 至 $5.0\text{J}/\text{mm}^2$ 范围内的激光束能量密度传递到钢板,以在照射激光束时生成残留于熔化部的沟槽内壁面上的再凝固部。

[0040] 所述激光照射步骤可包含激光束振荡控制步骤,该步骤通过激光振荡器控制器在正常操作条件下将用于振荡产生激光束的激光振荡器控制成导通(On)状态,当钢板的蛇行量大于等于 15mm 时,将激光振荡器控制成关闭(Off)状态。

[0041] 在所述激光照射步骤中,激光振荡器可以振荡产生单模(Single mode)连续波激光束。

[0042] 在所述激光照射步骤中,光学系统通过控制激光扫描速度,可将激光束照射线的

间距沿轧制方向调整为2mm至30mm。

[0043] 所述激光照射步骤还可包含将照射到钢板表面的激光束的照射线角度进行变换的角度变换步骤。

[0044] 在所述角度变换步骤,可将激光束的照射线角度相对于钢板的宽度方向变换成 $\pm 4^\circ$ 的范围。

[0045] 所述激光照射步骤还可包含吸除激光束照射时产生的烟尘(fume)和熔铁的集尘步骤。所述集尘步骤可包含向钢板的沟槽内部喷射压缩干燥空气以清除残留在沟槽内部的熔铁的喷射步骤。

[0046] 所述激光照射步骤还可包含阻挡激光束的反射光和散射光进入激光照射设备的光学系统的阻挡步骤。

[0047] 本示例性实施方案的磁畴细化装置可包含:钢板支撑辊位置调整设备,用于支撑沿生产线移动的钢板并控制钢板的上下方向位置;激光照射设备,用于照射激光束使钢板熔化,以在所述钢板的表面上形成沟槽;以及检测单元,用于通过确认形成在钢板表面上的沟槽的状态来检测沟槽是否存在缺陷。

[0048] 所述检测单元可包含:绝缘辊,用于支撑移动的钢板;漏磁通测定单元,所述漏磁通测定单元包含对经过绝缘辊的钢板表面施加磁力使其磁化的磁化器和与所述钢板隔开设置并测定钢板上所形成的沟槽漏磁场的磁传感器;以及控制单元,用于通过对所述磁传感器的输出信号进行演算来确认沟槽是否存在缺陷。

[0049] 所述控制单元可包含:信号转换单元,用于将由磁传感器检测出的漏磁场信号转换成沟槽的尺寸信号;演算单元,用于将已设定的正常状态的沟槽尺寸参考值与从信号转换单元输出的沟槽尺寸实际值进行比较演算,以判断有无缺陷。

[0050] 所述演算单元可具有将已设定的正常状态的沟槽间距参考值与从信号转换单元输出的沟槽间距实际值进行比较演算以判断有无缺陷的结构。

[0051] 所述控制单元还可包含设备控制单元,用于根据演算单元的输出信号控制设备的驱动。

[0052] 所述检测单元还可包含驱动单元,用于调整所述漏磁通测定单元和钢板之间的间距。

[0053] 所述驱动单元可包含:轨道,所述轨道面向钢板设置在设备上;移动台车,所述移动台车沿着轨道移动;以及移动架,所述移动架可移动地设置在所述移动台车上,并且前端具有所述漏磁通测定单元。

[0054] 所述控制单元还可包含驱动控制单元,所述驱动控制单元与所述驱动单元连接,用于根据设备控制单元的输出信号对驱动单元进行控制操作。

[0055] 所述磁畴细化装置还可包含矫正单元,用于根据由所述检测单元检测出的结果来调整针对钢板的激光焦点位置。

[0056] 所述钢板支撑辊位置调整设备可包含钢板支撑辊位置控制系统,用于按照所述激光照射设备的激光照射位置来控制支撑钢板的钢板支撑辊的位置。

[0057] 所述矫正单元可具有调整所述钢板支撑辊位置或照射激光的聚光镜位置的结构。

[0058] 所述激光照射设备可具有如下结构:针对与钢板支撑辊表面形成圆弧状接触而前行的钢板的表面,以激光束照射方向经过钢板支撑辊中心轴时的激光束照射位置为参考

点,将激光束照射在从所述参考点距离自钢板支撑辊中心沿外周面隔开的角度的位置上。

[0059] 所述激光照射设备可具有在相对于所述参考点自钢板支撑辊中心沿外周面隔开 3° 至 7° 的范围内照射激光束的结构。

[0060] 所述磁畴细化装置还可包含激光室,用于与外部隔离安置所述钢板支撑辊位置调整设备和激光照射设备,并提供用于照射激光的操作环境。

[0061] 所述磁畴细化装置还可包含张力控制设备,用于提供张力给钢板,以使钢板维持平展状态。

[0062] 所述磁畴细化装置还可包含蛇行控制设备,用于使钢板沿生产线中央移动不会左右偏向。

[0063] 所述激光室形成有内部空间以安置所述激光照射设备和钢板支撑辊位置控制设备使其与外部隔离,并且沿着钢板前行方向两侧面上形成有入口和出口,所述激光室内部可包含用于使激光室内部压力高于外部的超压装置、将激光照射设备的光学系统所处的顶部空间与钢板经过的底部空间隔离的光学系统底架、以及用于控制激光室内部温度和湿度的恒温恒湿控制器。

[0064] 所述磁畴细化装置还可包含后处理设备,用于清除形成在所述钢板表面上的隆起(hill up)和飞溅物(spatter)。

[0065] 所述后处理设备可包含刷辊,所述刷辊布置在激光室后端,用于清除钢板表面的隆起和飞溅物。

[0066] 所述后处理设备还可包含:清洁单元,所述清洁单元布置在刷辊后端,用于使钢板与碱液进行电解反应,以进一步清除残留在钢板表面上的隆起和飞溅物;以及过滤单元,所述过滤单元与清洁单元连接,用于将清洁单元的碱液中所包含的异物从碱液滤除。

[0067] 所述蛇行控制设备可包含:转向辊(Steering Roll),用于转换所述钢板的移动方向;蛇行测定传感器,用于测定所述钢板的宽度中央位置从生产线中央偏离的程度(蛇行量);以及钢板中央位置控制系统(Strip Center Position Control System),用于根据所述蛇行测定传感器的输出值使所述转向辊的轴旋转及移动,以调整钢板移动的方向。

[0068] 所述张力控制设备可包含:张紧辊(Tension Bridle Roll),用于对所述钢板施加张力并引导钢板移动;钢板张力测定传感器,用于测定经过所述张紧辊的所述钢板的张力;以及钢板(Strip)张力控制系统,用于根据由所述钢板张力测定传感器测定出的钢板的张力来调整所述张紧辊的速度。

[0069] 所述钢板支撑辊位置调整设备可包含:钢板支撑辊,用于在所述激光照射设备位置上支撑钢板;亮度测定传感器,用于测定从所述激光照射设备向钢板照射激光时产生的火花的亮度;以及钢板支撑辊位置控制系统,用于根据由所述亮度测定传感器测定出的火花亮度控制所述钢板支撑辊的位置。

[0070] 所述激光照射设备可包含:激光振荡器,用于振荡产生连续波激光束;以及光学系统,用于将由所述激光振荡器振荡产生的所述激光束照射到钢板表面上,以形成上部宽度、下部宽度和深度各自为 $70\mu\text{m}$ 以内、 $10\mu\text{m}$ 以内、 $3\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 的沟槽,同时将钢板熔化所需的 $1.0\text{J}/\text{mm}^2$ 至 $5.0\text{J}/\text{mm}^2$ 范围内的激光能量密度传递到钢板,以在照射激光时生成残留于熔化部的沟槽内壁面上的再凝固部。

[0071] 所述激光照射设备可包含激光振荡器控制器,用于在正常操作条件下将激光振荡

器控制成导通 (On) 状态,当钢板蛇行量大于等于15mm时,将激光振荡器控制成关闭 (Off) 状态。

[0072] 所述激光振荡器可以振荡产生单模 (Single mode) 连续波激光束。

[0073] 所述光学系统通过控制激光扫描速度,可将激光照射线的间距沿轧制方向调整为2mm至30mm。

[0074] 所述激光照射设备可具有向钢板照射激光束的光学系统通过驱动单元可旋转的结构,所述光学系统相对于钢板旋转,从而针对钢板的宽度方向变换激光束的照射线角度。

[0075] 所述激光照射设备还可包含阻挡单元,用于阻挡激光散射光和热进入光学系统。

[0076] 所述激光照射设备还可包含熔铁清除设备,用于清除向所述钢板照射激光束而产生的烟尘和飞溅物。

[0077] 所述熔铁清除设备可包含气刀,用于向钢板的沟槽内部喷射压缩干燥空气,以清除残留在沟槽内部的熔铁;以及集尘罩,用于吸除烟尘和熔铁。

[0078] (三) 有益效果

[0079] 如上所述,根据本示例性实施方案,在使钢板以大于等于2m/sec的速度高速前行的情况下,也能稳定地实施基于激光的磁畴细化工艺,可以确保电工钢板的热处理前后的铁损改善率分别大于等于5%、大于等于10%。

[0080] 此外,根据连续的磁畴细化工艺,在钢板连续移动的状态下,通过对钢板表面上所形成的细化沟槽的状态进行检测,可以实时准确地检测出有无缺陷,当出现加工不良时,立即反映到设备,以修复细化沟槽的缺陷或者停止工艺,从而可以尽量避免生产出不良产品。

[0081] 通过准确地检测出钢板上所形成的沟槽是否存在宽度方向不良,可以准确地确定在设备的光学系统哪个位置出现问题,并通过选择性的修补,可以更容易迅速地解决问题。

[0082] 通过缩短设备初始设定所需时间,可以最大限度地提高生产性。

[0083] 此外,通过提高磁畴细化效率以及改善操作性,可以扩大磁畴细化处理能力。

[0084] 另外,通过更有效地清除激光照射而形成的隆起和飞溅物等污染物质,可以提高产品的品质。

[0085] 此外,通过提供工艺所需的最佳操作环境,可以批量生产高品质的产品。

附图说明

[0086] 图1是根据本实施例的取向电工钢板的磁畴细化装置的结构示意图。

[0087] 图2是取向电工钢板的磁畴细化装置的另一个实施例的示意图。

[0088] 图3是根据本实施例经过磁畴细化处理的钢板的示意图。

[0089] 图4是根据本实施例的激光照射设备的光学系统的结构示意图。

[0090] 图5是根据本实施例的取向电工钢板的磁畴细化装置的检测单元的结构示意图。

[0091] 图6是用于说明根据本实施例的检测单元的作用的视图。

[0092] 图7是示出根据本实施例形成在钢板上的沟槽的缺陷检测结果的视图。

[0093] 图8是用于说明根据本实施例的初始位置设定过程的曲线图。

[0094] 图9是根据本实施例的沟槽缺陷矫正过程的流程示意图。

具体实施方式

[0095] 本文所使用的专业术语只是出于描述特定实施例而不意在限制本发明。除非上下文中另给出明显相反的含义,否则本文所使用的单数形式也意在包含复数形式。还应该理解的是,术语“包含”可以具体指某一特性、领域、整数、步骤、动作、要素及/或成分,但并不排除其他特性、领域、整数、步骤、动作、要素、成分及/或组的存在或附加。

[0096] 下面参照附图详细描述本发明的实施例,以使本发明所属领域的普通技术人员容易实施本发明。本发明所属领域的普通技术人员理应理解,在不脱离本发明的概念及范围的基础上,本文所述的实施例能够以各种不同方式变形实施。因此,本发明能够以各种不同方式实施,并不局限于本文中所述的实施例。

[0097] 在下文中,本实施例以用于变压器铁芯材料等的取向电工钢板的磁畴细化设备为例进行描述。

[0098] 图1和图2示意性地示出了取向电工钢板的磁畴细化装置的实施例,图3示出了根据本实施例经过磁畴细化处理的钢板。在下文中,轧制方向或钢板移动方向是指图3中的x轴方向,宽度方向是指垂直于轧制方向的图3中的y轴方向,宽度是指相对于y轴方向的钢板长度。图3中附图标记31表示被激光束刻成沟槽状而连续形成在钢板1表面上的照射线。

[0099] 参照图1,根据本实施例的取向电工钢板的磁畴细化装置,即使钢板1以大于等于2m/s的速度高速前行也能稳定地进行永久磁畴细化处理。

[0100] 本实施例的磁畴细化装置可包含:钢板支撑辊位置调整设备,用于支撑沿生产线移动的钢板1并控制钢板的上下方向位置;激光照射设备,用于照射激光束使钢板熔化,以在所述钢板的表面上形成沟槽;以及检测单元50,用于通过确认形成在钢板表面上的沟槽的状态来检测沟槽是否存在缺陷。

[0101] 如图1所示,所述检测单元50布置在装置的后端,通过确认形成在连续前行的钢板上的沟槽的状态来检测出有无缺陷。关于所述检测单元,容后详述。

[0102] 此外,所述磁畴细化装置还可包含激光室20,用于与外部隔离安置所述钢板支撑辊位置调整设备和激光照射设备,并提供用于照射激光的操作环境。

[0103] 此外,所述磁畴细化装置还可包含张力控制设备,用于提供张力给钢板,以使钢板维持平展状态不会下垂。

[0104] 此外,所述磁畴细化装置还可包含蛇行控制设备,用于使钢板沿生产线中央移动不会左右偏向。

[0105] 此外,所述磁畴细化装置还可包含后处理设备,用于清除激光束照射而形成在所述钢板表面上的隆起(hill up)和飞溅物(spatter)。

[0106] 隆起(hill up)是指向钢板表面照射激光束而形成沟槽时,在钢板上熔化的铁堆积于沟槽部位两侧形成一定高度以上的部分。飞溅物(spatter)是指激光束照射时产生后凝固在钢板表面上的熔铁。

[0107] 所述蛇行控制设备可包含:转向辊2A、2B,用于转换所述钢板1的移动方向;蛇行测定传感器4,用于测定所述钢板1的宽度中央位置从生产线中央偏离的程度(蛇行量);以及钢板中央位置控制系统3,用于通过演算所述蛇行测定传感器4的检测信号使所述转向辊2A、2B的轴旋转及移动,以调整钢板1移动的方向。

[0108] 蛇行测定传感器4布置在转向辊2B的后端,实时检测出经过转向辊的钢板的实际

蛇行量。

[0109] 通过所述蛇行控制设备钢板沿生产线的中央笔直移动不会左右偏向,从而可以在钢板的整个宽度上形成沟槽于钢板表面。

[0110] 在通过激光照射形成钢板表面沟槽之前的工艺中,所述蛇行控制设备通过蛇行测定传感器4测定钢板的蛇行量。通过蛇行测定传感器4测定的值输出到钢板中央位置控制系统,而钢板中央位置控制系统对蛇行测定传感器的输出值进行演算,并根据演算出的蛇行程度使转向辊2A、2B的轴旋转及移动。如此,通过使转向辊2A、2B旋转及移动来调整缠绕在转向辊而移动的钢板的移动方向。由此,所述钢板的蛇行量得到控制,从而可将钢板1的蛇行量控制在±1mm以内。

[0111] 所述张力控制设备可包含:张紧辊5A、5B,用于对所述钢板1施加一定大小的张力并引导所述钢板1移动;钢板张力测定传感器7,用于测定经过所述张紧辊的所述钢板1的张力;以及钢板张力控制系统6,用于根据由所述钢板张力测定传感器7测定出的钢板1的张力来调整所述张紧辊5A、5B的速度。

[0112] 所述钢板张力测定传感器7布置在张紧辊5B的后端,实时测定经由张紧辊5B提供张力的钢板的实际张力。

[0113] 在本实施例中,可将钢板的张力设定成足以使激光照射设备的激光照射位置上的钢板表面形状平坦且不会造成因过大的张力而产生钢板的断裂。

[0114] 为了以所设定的范围内的钢板张力进行操作,所述张力控制设备根据由钢板张力测定传感器7测定出的钢板的张力通过钢板张力控制系统6调整张紧辊5A、5B的速度。由此,所述张力控制设备提供张力给钢板并控制成钢板1的张力误差在所述设定范围内。

[0115] 经过所述张力控制设备的钢板进入激光室20内部后,再经过钢板支撑辊位置调整设备和激光照射设备完成磁畴细化加工,然后送出至激光室20外部。关于所述激光室,容后详述。

[0116] 在本实施例中,在激光室20内部钢板支撑辊9布置在激光照射设备正下方,而钢板支撑辊两侧分别布置有偏转辊(Deflector Roll)8A、8B。

[0117] 钢板1的移动方向被偏转辊8A、8B转换成朝向钢板支撑辊9。钢板1经偏转辊8A移动方向被转换成朝向钢板支撑辊9侧,在与钢板支撑辊9接触后,重新转换成朝向偏转辊8B侧,经过偏转辊8B继续移动。

[0118] 钢板1通过偏转辊沿钢板支撑辊9以圆弧状缠绕形成面接触而经过钢板支撑辊。为了最大限度地减少激光束照射时钢板的振动及波动导致的激光束焦距变化,钢板需要与钢板支撑辊形成充分的面接触,并且应该在此状态下将激光束照射到沿着钢板支撑辊前行的钢板上。在本实施例中,如上所述钢板支撑辊与钢板形成面接触,因此可以对钢板精确地照射激光束。

[0119] 所述钢板支撑辊位置调整设备可包含:钢板支撑辊9,用于对准所述激光照射设备的激光照射位置支撑钢板1;以及钢板支撑辊位置控制系统12,用于控制钢板支撑辊9的位置。

[0120] 所述钢板支撑辊位置调整设备用钢板支撑辊9支撑钢板1,使得钢板1位于激光照射钢板的效率高的焦深(Depth of Focus)内。钢板支撑辊位置调整设备对钢板支撑辊9位置整体上进行上下调整,以使激光束焦点对准钢板1。

[0121] 此外,所述钢板支撑辊位置调整设备可包含亮度测定传感器10,用于测定从所述激光照射设备向钢板1照射激光时产生的火花的亮度。

[0122] 对钢板支撑辊9位置整体上进行上下调整,以使向钢板照射激光时产生的火花的亮度达到最佳状态。可以利用亮度测定传感器10来测定向钢板照射激光时产生的火花的亮度。

[0123] 为了使激光束的焦点精确对准钢板,照射激光束的聚光镜35和被钢板支撑辊9支撑的钢板1之间的距离必须与激光束的焦距一致。通过对聚光镜35的位置或钢板支撑辊9的位置进行上下调整,可将聚光镜和钢板之间的距离精确地调整到焦距。由此,钢板位于焦深内,激光束的焦点精确地聚焦在钢板上,钢板上会形成深深的沟槽。

[0124] 在本实施例中,所述钢板支撑辊位置调整设备还可包含距离测定传感器11,用于测定从激光照射设备的光学系统至钢板表面之间的实际距离。

[0125] 所述钢板支撑辊位置控制系统12对由亮度测定传感器10检测出的火花亮度和由距离测定传感器11实际测出的光学系统和钢板表面之间的距离进行演算,从而更精确地控制钢板支撑辊9的位置。

[0126] 此外,如图2所示,所述钢板支撑辊位置控制系统12根据下述的矫正单元70的控制信号控制钢板支撑辊位置调整设备,从而可以精确地调整钢板支撑辊9的位置。

[0127] 所述蛇行控制设备、张力控制设备及钢板支撑辊位置调整设备的作用是给激光照射位置上的钢板创造条件,以通过激光照射设备能够在钢板上精确地形成激光沟槽。对于激光照射位置上的钢板,钢板中央位置应位于生产线的中央,而且与光学系统的距离必须维持设定的值。

[0128] 所述激光照射设备可包含激光振荡器控制器13、用于振荡产生连续波激光束16的激光振荡器14、光学系统15。

[0129] 如图4所示,所述光学系统15可包含:模块板37,所述模块板37可旋转地设置,用于提供相对于钢板宽度方向的激光束照射线的角度;驱动单元36,用于使所述模块板37旋转;出射头39,所述出射头39设置在所述模块板37上,用于将由激光振荡器14施加的激光束射出到光学系统15内部;多角镜32,所述多角镜32可旋转地设置在模块板37上,用于反射由出射头39射出的激光束;旋转电机33,用于使所述多角镜32旋转驱动;聚光镜35,所述聚光镜35设置在所述模块板37上,用于将被所述多角镜32反射的激光束16反射到钢板侧聚焦于钢板;驱动电机34,所述驱动电机34与所述聚光镜35连接,用于使聚光镜35移动以调整激光束的焦距;以及快门38,所述快门38设置在所述模块板37上,用于根据激光束照射与否选择性地关闭模块板37。

[0130] 所述光学系统15在构成光学盒的模块板37内布置出射头39、多角镜32、聚光镜35及快门形成一体。例如,激光振荡器14和出射头39通过光缆41连接。因此,从激光振荡器14出来的激光经过光缆41送到出射头39。在所述构成光学盒的模块板37内部,出射头39和多角镜32及聚光镜35布置在正位,以将激光束16反射到所希望的位置上。如图4所示,例如,可具有所述出射头39布置在多角镜32的两侧分别向多角镜32射出激光束的结构。配合被多角镜32反射的各激光束布置两个聚光镜35。从出射头39射出的激光束被随着旋转电机33的驱动而旋转的多角镜32反射送到聚光镜35。反射到聚光镜35的激光束16从聚光镜35通过快门38反射到钢板侧聚焦于钢板1表面。由此,向钢板表面周期性地照射激光束,从而沿着宽度

方向形成连续沟槽。

[0131] 基于光学系统15的激光束16的整体焦距是通过钢板支撑辊9的上下移动进行调整,而左右焦距不一致时,通过与聚光镜35连接设置的驱动电机34进行调整。

[0132] 所述快门38设置在模块板37下方,用于开闭模块板37。激光束从聚光镜35照射到下方时,所述快门38被打开以免与激光束发生干扰,当不照射激光束时,所述快门38闭合阻挡外部的烟尘或异物进入光学系统15内部。

[0133] 当钢板蛇行量过大时,钢板会偏离激光照射位置,从而导致激光照射到钢板支撑辊9而造成损坏。因此,为了防止钢板支撑辊损坏,所述激光振荡器控制器13在正常操作条件下,将激光振荡器控制成导通(On)状态,当钢板蛇行量大于等于15mm时,将激光振荡器控制成关闭(Off)状态。

[0134] 所述激光振荡器14可振荡产生单模(Single mode)连续波激光束并传递到所述光学系统15。光学系统15将传递的激光束16照射到钢板表面。

[0135] 激光振荡器14和光学系统15可将激光束照射在钢板表面,以形成上部宽度、下部宽度及深度各自为70 μm 以内、10 μm 以内、3 μm 至30 μm 的沟槽,同时可将钢板熔化所需的1.0J/ mm^2 至5.0J/ mm^2 范围内的激光束能量密度传递到钢板,以在照射激光时生成残留于熔化部的沟槽内壁面上的再凝固部。

[0136] 所述光学系统15具有控制激光扫描速度的功能,因此可将激光照射线(图3的31)的间距沿轧制方向调整为2mm至30mm。由此,最大限度地降低激光束导致的热影响区(HAZ, Heat Affected Zone)的影响,从而可以改善钢板的铁损。

[0137] 此外,所述激光照射设备可以是将照射到钢板表面的激光束的照射线角度相对于钢板的宽度方向进行变换的结构。在本实施例中,所述激光照射设备可将激光束的照射线角度相对于钢板的宽度方向变换成 $\pm 4^\circ$ 的范围。

[0138] 为此,所述激光照射设备可具有如下结构:向钢板照射激光束的光学系统15具有通过驱动单元36可旋转的结构,以将形成在钢板表面上的激光束的照射线角度相对于钢板的宽度方向进行变换。如此,通过光学系统变换激光束的照射线角度,使得基于激光束的照射线31形成为从垂直于钢板轧制方向的方向倾斜 $\pm 4^\circ$ 的范围。因此,可以尽量避免由激光形成沟槽所导致的磁通密度下降。

[0139] 此外,在本实施例中,所述激光照射设备具有通过控制相对于钢板1的激光束的照射位置来防止照射到钢板的激光束被钢板反射而进入光学系统或激光振荡器的背向反射现象的结构。

[0140] 为此,如图4所示,所述激光照射设备可具有如下结构:针对与钢板支撑辊9表面形成圆弧状接触而前行的钢板的表面,以从光学系统15照射的激光束的照射方向经过钢板支撑辊9的中心轴时的激光束照射位置为参考点P,可将激光束照射在从所述参考点P距离自钢板支撑辊9中心沿外周面隔开的角度(为了便于说明,以下称为隔开角度R)的位置上。

[0141] 所述参考点P是图4中经过钢板支撑辊9中心轴的线与钢板相遇的地点。当激光束的照射方向经过钢板支撑辊9的中心轴时,激光束的焦点会对准参考点P。在这种情况下,激光束的照射方向与在参考点P上的钢板支撑辊9切线呈直角,因此将会发生打到钢板后被反射的激光束直接进入光学系统和激光振荡器造成损坏的背向反射现象。

[0142] 如上所述,根据本实施例的激光照射设备将激光束照射在从参考点P隔开相当于

隔开角度R的位置上,从而避免被钢板反射的激光束射入光学系统。因此,可以防止所述的背向反射现象,并维持由激光束形成的沟槽形状的品质。

[0143] 在本实施例中,所述隔开角度R可以设定成相对于所述参考点P从钢板支撑辊9中心沿外周面隔开 3° 至 7° 的范围。

[0144] 当所述激光束照射的位置即隔开角度R小于 3° 时,被钢板反射的激光束的一部分会进入光学系统或激光振荡器。当所述隔开角度R大于 7° 时,基于激光束的沟槽形成不会顺利,可能会发生沟槽形成不良。

[0145] 如上所述,本实施例的激光照射设备在以参考点P为中心隔开预定角度的地点向钢板照射激光,从而防止背向反射现象,当激光束被反射时不会与射入光路发生干扰,可以稳定地维持由激光束形成的沟槽形状的品质。

[0146] 此外,所述激光照射设备还可包含熔铁清除设备,用于清除向所述钢板照射激光束而产生的烟尘和飞溅物。

[0147] 所述熔铁清除设备可包含:气刀17,用于向钢板的沟槽内部喷射压缩干燥空气,以清除残留在沟槽内部的熔铁;以及集尘罩19A、19B,用于吸除烟尘和熔铁。通过所述气刀和集尘罩可以清除照射激光时产生的烟尘,以防止烟尘进入光学系统内部。所述气刀17向所述钢板1的沟槽内部喷射具有大小恒定的压力(Pa)的压缩干燥空气,以清除残留在沟槽内部的熔铁。从所述气刀17喷射的所述压缩干燥空气优选具有大于等于 $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力(Pa)。当所述压缩干燥空气的压力小于 $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 时,不能清除沟槽内部的熔铁,无法确保铁损改善效果。通过气刀清除的烟尘和飞溅物被布置在激光照射位置前后的集尘罩19A、19B清除。

[0148] 此外,所述激光照射设备还可包含阻挡单元18,用于阻挡激光束的反射光和散射光及辐射热进入光学系统。所述阻挡单元18通过阻挡因照射在钢板上的激光束16的反射和散射而进入光学系统的反射光和散射光,可以防止光学系统被反射光和散射光导致的辐射热加热而产生热变形。

[0149] 所述激光室20是具有内部空间的房间结构,其内部安置所述激光照射设备和钢板支撑辊位置控制设备使其与外部隔离,并提供适当的操作环境,以使这些设备顺利驱动。

[0150] 沿着钢板前行方向在所述激光室20的进入侧和排出侧分别形成有入口和出口。所述激光室20具备阻止污染物进入的设施,以免内部空间被外部的粉尘等污染。为此,所述激光室20具备超压装置23,用于使内部压力高于外部。所述超压装置23维持激光室20内部压力相对高于外部压力。因此,可以防止外部的异物进入激光室20内部。此外,在钢板出入的所述入口和出口设置气帘22A、22B、22C、22D。所述气帘向钢板进出激光室20的通道即入口和出口喷射空气形成气膜,以阻止灰尘等通过入口和出口进入。此外,为了防止所述激光室20内部污染,可在激光室20的出入口即门口设置淋浴间21。所述淋浴间21用于清除进入激光室20的人员的身上的异物。

[0151] 所述激光室20是实际进行基于激光束的钢板磁畴细化工艺的空间,需要尽量避免内部环境的变化,要维持适当的环境。为此,所述激光室20具备光学系统底架24,用于将激光照射设备的激光振荡器14和光学系统15等所处的顶部空间与钢板1经过的底部空间分开;以及恒温恒湿控制器25,用于控制激光室20内部温度和湿度。

[0152] 所述光学系统底架24使得对激光振荡器14和光学系统15等主要设备的操作环境

的管理更加彻底。所述光学系统底架24设置成在激光室20内部分开钢板经过的光学系统底部空间和激光振荡器及光学系统反射镜所处的光学系统顶部空间。由于通过光学系统底架24在激光室20内部额外分离出光学系统顶部空间,因此对激光振荡器或光学系统等主要设备的防污及温度和湿度控制变得更容易。

[0153] 所述恒温恒湿控制器25控制激光室20内部的温度和湿度,以提供适宜环境。在本实施例中,所述恒温恒湿控制器25可将激光室20的内部温度维持在20℃至25℃,并将湿度维持在小于等于50%。

[0154] 如上所述,激光室20的内部空间持续维持适合操作环境的温度和湿度,可在最佳状态下对钢板进行磁畴细化工艺。因此,可在工艺所需的最佳工作环境下批量生产高品质的产品。

[0155] 本实施例的磁畴细化装置还可包含后处理设备,用于清除形成在所述钢板表面上的隆起(hill up)和飞溅物(spatter)。

[0156] 隆起和飞溅物会成为降低产品的绝缘性和占空系数的原因,因此通过所述后处理设备彻底清除,就可以提高产品的品质。

[0157] 所述后处理设备可包含刷辊26A、26B,所述刷辊26A、26B沿着钢板移动方向布置在激光室20后端,用于清除钢板表面的隆起和飞溅物。所述刷辊26A、26B被驱动电机高速旋转,通过将操作时产生的驱动电机的电流值控制成所设定的目标值的电流控制系统及用于调控刷辊和钢板之间的间距的刷除位置控制系统来控制刷辊26A、26B的旋转速度及与钢板的间距。所述刷辊可以仅布置在由激光束形成沟槽的钢板的一面或者布置在钢板的两面。所述刷辊26A、26B抵接于钢板表面高速旋转,从而清除附着在钢板表面上的隆起和飞溅物等。如图1所示,在所述刷辊26A、26B附近进一步设置用于排出被刷辊清除的隆起和飞溅物的集尘罩19C。所述集尘罩19C吸入被刷辊26A、26B从钢板刷落的隆起和飞溅物等熔铁后排出到外部。

[0158] 此外,所述后处理设备还可包含:清洁单元29,所述清洁单元29布置在刷辊26A、26B后端,用于使钢板与碱液进行电解反应,以进一步清除残留在钢板表面上的隆起和飞溅物;以及过滤单元30,所述过滤单元30与清洁单元连接,用于将清洁单元的碱液中所包含的异物从碱液滤除。

[0159] 钢板经过刷辊26A、26B被第一次清除隆起和飞溅物,再经过清洁单元29被第二次清除残留的隆起和飞溅物。由此,附着在钢板表面上的隆起和飞溅物被更彻底地清除,从而提高产品品质。

[0160] 对于所述清洁单元29,其内部装有碱液,并且一侧连接在过滤单元30。通过所述清洁单元对钢板进行处理,因此内部碱液中会积聚从钢板清除的隆起和飞溅物,从而导致钢板的清洁性能下降。所述过滤单元30通过使清洁单元的碱液循环来滤除碱液中所包含的隆起和飞溅物。所述过滤单元30通过滤除隆起和飞溅物,将碱液的含铁量控制在小于等于500ppm。如此,通过防止清洁单元的清洁性能下降,可以连续地处理钢板。

[0161] 图5示出了根据本实施例设置在装置后端的检测单元50。

[0162] 所述检测单元50布置在所述后处理设备的后端,通过监测最终形成在钢板1表面上的沟槽31的加工状态来检测有无缺陷。

[0163] 如图5所示,所述检测单元50可包含:绝缘辊51,用于支撑移动的钢板;漏磁通测定

单元52,所述漏磁通测定单元52包含磁化器53和磁传感器54;以及控制单元55,用于通过对所述磁传感器54的输出信号进行演算来确认沟槽是否存在缺陷。

[0164] 所述磁化器53对经过绝缘辊51的钢板表面施加磁力使其磁化,所述磁传感器54与所述钢板隔开设置并测定形成在钢板上的沟槽的漏磁场。

[0165] 所述绝缘辊51是由本身不导电的绝缘材料形成的辊轮。所述绝缘辊51在与钢板以足够的面积接触的状态下,相对于漏磁通测定单元52稳定地支撑钢板。钢板与所述绝缘辊51的表面形成圆弧状接触而前行。

[0166] 所述漏磁通测定单元52利用漏磁通测定原理(magnetic flux leakage)测定在强磁性材料的钢板表面的不连续区段(即,沟槽)泄漏的磁场。

[0167] 为此,所述漏磁通测定单元52包含磁化器53,用于对钢板表面施加磁场使其磁化;以及磁传感器54,用于测定在被磁化器53磁化的钢板的不连续区段即沟槽泄漏的磁场。

[0168] 所述磁化器53和磁传感器54可以是一个或多个,并且朝钢板表面沿着宽度方向排列设置。由此,漏磁通测定单元52可以针对沿着钢板的宽度方向形成的沟槽整体长度测定出沟槽的尺寸,例如沟槽的深度和宽度的尺寸。此外,所述钢板会连续经过漏磁通测定单元52,因此所述漏磁通测定单元52可以检测出钢板表面上所形成的沟槽的形成间距。

[0169] 图6示出了基于所述漏磁通测定单元的测定原理。

[0170] 如图6所示,磁化器对强磁性材料(magnetic metal)的测定对象表面施加磁场使测定对象磁化。在测定对象表面上所形成的沟槽、侵蚀、裂纹等不连续区段会产生漏磁场(magnetic leak),与测定对象隔开布置的磁传感器会测定出这种漏磁场。由此,通过对测定出的漏磁场进行分析,可以确认形成在测定对象的不连续区段的尺寸等。

[0171] 通过这样的原理,本实施例的漏磁通测定单元52可在钢板1连续前行的状态下准确地检测出针对强磁性材料的钢板表面上所形成的沟槽的漏磁通。

[0172] 所述控制单元55通过对漏磁通测定单元52检测出的漏磁场信号进行演算来检测沟槽是否存在缺陷。

[0173] 在本实施例中,所述控制单元55可包含:信号转换单元56,用于将由磁传感器54检测出的漏磁场信号转换成沟槽的深度信号;演算单元57,用于将已设定的正常状态的沟槽尺寸参考值与从信号转换单元56输出的沟槽尺寸实际值进行比较演算,以判断有无缺陷。

[0174] 从磁传感器54施加的信号是漏磁场值,所述信号转换单元56将从磁传感器54施加的信号转换成尺寸值。通过信号转换单元56求得针对沟槽尺寸的实际值。

[0175] 所述演算单元57将针对正常状态的沟槽尺寸的参考值作为数据存储在内部。所述演算单元57与信号转换单元56连接,将从信号转换单元56施加的沟槽尺寸实际值与存储在内部的沟槽尺寸参考值进行比较演算,从而判断有无缺陷。也就是说,当沟槽尺寸实际值接近沟槽尺寸参考值时,所述演算单元57可以判断为正常状态,当沟槽尺寸实际值大大偏离沟槽尺寸参考值时,所述演算单元57可以判断为存在缺陷。

[0176] 此外,所述演算单元57将针对正常状态的沟槽形成间距的参考值作为数据存储在内部。由此,所述演算单元57将通过从信号转换单元56施加的信号来确认的沟槽实际间距值与存储在内部的沟槽间距参考值进行比较演算,从而可以判断有无缺陷。

[0177] 此外,所述演算单元57针对沿钢板宽度方向的沟槽整体长度检测沟槽是否存在缺陷,因此对存在缺陷的沟槽,可以更具体地确认沟槽的哪个位置存在缺陷。根据钢板的宽度

方向长度,可沿着钢板宽度方向布置多个必要组件如用于照射激光的聚光镜等。由此,检测出沟槽的哪个位置存在缺陷,从而可以准确地确认沿着钢板宽度方向布置的多个组件中第几个组件存在问题。因此,针对相关组件,可以选择性地采取整修等修补措施。

[0178] 如上所述,所述检测单元50通过在钢板上形成磁畴细化沟槽的工艺状态下监测实际形成在钢板表面上的沟槽的加工状态,可以确认是否存在缺陷,并将结果立即反映到设备,从而可以采取必要的措施。

[0179] 为此,所述控制单元55还可包含设备控制单元58,用于根据演算单元57的输出信号控制设备的驱动。

[0180] 所述设备控制单元58根据演算单元57的输出信号向组成钢板磁畴细化装置的各组件施加控制信号,以控制装置的驱动。例如,所述设备控制单元58通过控制用于使钢板沿生产线移动的驱动单元,可以停止钢板的移动,或者通过控制激光照射设备的启动,可以停止加工激光沟槽。由此,当钢板上所形成的沟槽出现缺陷时,根据设备控制单元58的信号立即停止操作,可以防止继续制造出不良钢板。

[0181] 如图5所示,当有必要时,所述检测单元50还可包含驱动单元,用于调整所述漏磁通测定单元52和钢板之间的间距。所述检测单元50有必要按照各种操作环境如漏磁通测定单元52的整修或等待操作以及根据钢板种类的磁传感器54和钢板之间的测定距离调整等对漏磁通测定单元52和钢板之间的间距进行调整。

[0182] 在本实施例中,所述驱动单元可包含:轨道60,所述轨道60面向钢板设置在设备上;移动台车61,所述移动台车61沿着轨道60移动;以及移动架62,所述移动架62可移动地设置在所述移动台车61上,并且前端具有所述漏磁通测定单元52。

[0183] 此外,所述控制单元55还可包含驱动控制单元59,所述驱动控制单元59与所述驱动单元连接,用于根据设备控制单元58的输出信号对驱动单元进行控制操作。

[0184] 由此,当移动台车61沿着轨道60移动时,具有漏磁通测定单元52的移动架62朝钢板前进或后退,并且相对于移动台车61移动架62移动,从而精确地调整设置在移动架62上的漏磁通测定单元52和钢板之间的间距。

[0185] 所述移动台车61和移动架62的移动可以利用驱动缸或步进电机等的驱动力,而且可以采用各种设定。

[0186] 所述驱动控制单元59根据设备控制单元58的输出信号向移动台车61和移动架62施加控制信号,以使漏磁通测定单元52靠近或远离钢板。例如,当钢卷信息从中央操纵室传送到控制单元55时,控制单元55的设备控制单元58根据钢卷信息按照漏磁通测定单元52的磁传感器54和钢板之间的适当的隔开距离向驱动控制单元59施加控制信号。驱动控制单元59根据从设备控制单元58施加的信号驱动移动台车61和移动架62,使得漏磁通测定单元52的磁传感器54位于钢板表面上方。

[0187] 本实施例的磁畴细化装置还可包含矫正单元70,用于根据由所述检测单元检测出的结果调整针对钢板的激光束焦点位置。

[0188] 矫正单元70与所述检测单元50的控制单元55连接,根据检测单元的检测结果调整针对钢板的激光束焦点位置。由此,钢板上所形成的沟槽的深度加深,从而矫正沟槽形成不良。矫正单元70可以相对于固定的激光束焦点位置移动钢板或者相对于固定的钢板移动激光束的焦点位置。

[0189] 在本实施例中,矫正单元70通过上下调整钢板支撑辊9的位置,可以使钢板1的位置对准焦点。除了这种结构之外,当移动焦点位置时,通过使钢板支撑辊定位并上下移动照射激光的聚光镜的位置,可以调整激光束的焦点位置。两种结构都能使钢板和激光束的焦点位置相对变化,激光束的焦点会准确地聚焦在钢板表面上。

[0190] 通过矫正单元70上下调整钢板支撑辊9或聚光镜35的位置,使得聚光镜和钢板之间的距离与激光束的焦距一致。由此,钢板位于激光束的焦深 (Depth of Focus) 内,焦点会准确地对准钢板。因此,钢板上会顺利地形成深深的沟槽,从而矫正沟槽的形成不良。

[0191] 在本实施例中,所述矫正单元70与钢板支撑辊位置控制系统12连接,根据控制单元55的信号向钢板支撑辊位置控制系统12施加输出信号。由此,当产生沟槽不良时,控制单元55向矫正单元70施加控制信号,矫正单元70根据控制单元的控制信号控制钢板支撑辊位置控制系统,以使钢板支撑辊9的位置上下移动。

[0192] 随着钢板支撑辊9的位置上下移动,钢板1的位置得到调整,激光束的焦点对准钢板,从而修复对钢板的沟槽深度形成不良。

[0193] 下面描述根据本实施例的电工钢板的磁畴细化过程如下。

[0194] 连续输送的钢板经过蛇行控制设备和张力控制设备进入激光室内部并以大于等于2m/sec的速度前行完成磁畴细化处理。进入激光室内部的钢板通过激光照射设备完成永久磁畴细化处理后,从激光室向外拉出。拉到激光室外的钢板经过后处理设备清除残留在表面上的隆起和飞溅物等,再输送到后续工艺。

[0195] 在此过程中,对钢板表面进行激光照射的激光室需要合理设置及维持内部操作环境,以便能够提供用于磁畴细化的最佳环境。

[0196] 所述激光室需要将内部与外部隔离以阻止外部污染物进入,还要根据用于磁畴细化的操作环境控制激光室内部温度和压力及湿度。

[0197] 将激光室的内部压力设置成高于外部后维持,从而可以防止外部的灰尘等异物进入激光室内部。此外,通过在钢板移动的通道即入口和出口由空气形成气膜,可以在钢板通过入口和出口前行的过程中阻挡灰尘等异物进入激光室内部。

[0198] 此外,设置在激光室的恒温恒湿控制器将激光室内部的温度维持在20℃至25℃,并且将湿度维持在小于等于50%,从而提供基于激光照射的磁畴细化处理的最佳条件。

[0199] 如此,通过激光室提供用于照射激光束的最佳环境,而且钢板经过蛇行控制设备、张力控制设备、以及钢板支撑辊位置调整设备准确地位于激光照射位置。

[0200] 首先,为了磁畴细化处理,通过蛇行控制设备控制钢板的前行方向,使得钢板沿生产线中央笔直移动不会左右偏向。

[0201] 蛇行测定传感器会持续检测钢板的蛇行量,当钢板蛇行移动时,通过对由蛇行测定传感器检测出的信号进行演算,钢板中央位置控制系统使转向辊的轴旋转及移动,从而将钢板移动到正位。如此,根据钢板的位置持续控制转向辊,使得钢板不偏离生产线中央继续连续移动。

[0202] 钢板经过转向辊后,经用于调整张力的张紧辊进行移动。通过张力测定传感器来检测经过张紧辊的钢板的张力。钢板张力控制系统通过对由张力测定传感器检测出的测定值进行演算,并按照所设定的张力控制张紧辊的速度。由此,可以按照所设定的范围持续维持移动钢板的张力。

[0203] 经过张紧辊的钢板通过激光室的入口进入激光室内部。钢板在激光室内部由偏转辊转换方向后,以抵接在位于两个偏转辊之间的钢板支撑辊的状态移动。

[0204] 所述钢板支撑辊使钢板上下移动,使得钢板位于激光束的焦深内。

[0205] 从激光照射设备向钢板照射激光束时,亮度测定传感器会实时检测钢板表面的火花亮度。钢板支撑辊位置控制系统根据由亮度测定传感器检测出的测定值使钢板支撑辊上下移动,使得钢板位于激光束的焦深内。由此,可以向钢板表面有效地照射激光束,从而形成高品质的照射线。

[0206] 此外,根据矫正单元70的控制,钢板支撑辊位置控制系统使钢板支撑辊上下移动,以使钢板位于激光束的焦深内。由此,可以向钢板表面有效地照射激光束,从而形成高品质的照射线。

[0207] 所述激光振荡器控制器根据钢板的蛇行程度开启或关闭激光振荡器。所述激光振荡器控制器与蛇行测定传感器连接,当由蛇行测定传感器测定的钢板的蛇行量大于等于15mm时,判断为钢板过于偏离钢板支撑辊,将激光振荡器关闭(off)。由此,可以防止激光束绕过蛇行的钢板照射到钢板支撑辊表面导致钢板支撑辊损坏。

[0208] 根据激光振荡器控制器的指令在激光振荡器产生的激光束经过光学系统照射到钢板表面。激光振荡器振荡产生TEM₀₀连续波激光束并传递到光学系统。

[0209] 光学系统通过转换激光束的方向朝钢板的表面照射激光,从而在钢板表面连续形成熔化沟槽完成磁畴细化处理。

[0210] 钢板表面被经光学系统照射到钢板的激光束熔化,进而沿照射线形成熔化沟槽。在本实施例中,通过照射激光束在钢板表面形成上部宽度、下部宽度及深度各自为70μm以内、10μm以内、3μm至30μm的沟槽,同时激光振荡器和光学系统将钢板熔化所需的1.0J/mm²至5.0J/mm²范围内的激光能量密度传递到钢板,以在激光照射时生成残留于熔化部的沟槽内壁面上的再凝固部。

[0211] 此外,在通过光学系统照射激光束的过程中,将激光束照射在与参考点间隔开的位置上,从而避免被钢板反射的激光束进入光学系统。因此,可以防止上述的背向反射现象,而且激光束的射入光路不会受到反射光的干扰,从而可以维持由激光束形成的沟槽形状的品质。

[0212] 所述光学系统具有控制激光扫描速度的功能,因此可以调整相对于轧制方向的激光照射线的间距。此外,光学系统具有旋转功能,因此可以变更激光照射线的角度。在本实施例中,可以通过光学系统将激光照射线的间距沿轧制方向调整为2mm至30mm,从而最大限度地降低激光束导致的热影响区(HAZ, Heat Affected Zone)的影响,由此可以改善钢板的铁损。此外,在激光束照射过程中,通过所述光学系统的旋转,可以变换照射到钢板表面的激光束的照射线角度。在本实施例中,所述光学系统可将激光束的照射线角度相对于钢板的宽度方向变换成±4°的范围。也就是说,能够以图3中相对于y轴方向在±4°范围内倾斜的方式形成激光束的照射线31。由此,钢板表面上所形成的照射线可相对于轧制方向在86°至94°的范围内倾斜。如此,通过使照射线相对于y轴方向倾斜形成,可以尽量避免由激光形成沟槽所导致的磁通密度下降。

[0213] 在所述激光束照射过程中,钢板被激光束熔化而产生大量的烟尘和熔铁飞溅物。烟尘和飞溅物会污染光学系统,当沟槽内部残留有熔铁时,难以形成精确的沟槽,而且铁损

不会得到改善,因此损害产品的品质。为此,向钢板的沟槽内部喷射压缩干燥空气以清除残留在沟槽内部的熔铁,并通过集尘罩直接吸除烟尘和熔铁。因此,在钢板磁畴细化过程中,通过阻止烟尘进入光学系统侧并迅速清除烟尘和飞溅物,可以提高磁畴细化处理效率。此外,在所述激光束照射过程中,还可以阻挡激光束的散射光和热进入激光照射设备的光学系统。

[0214] 通过照射激光束在钢板表面形成沟槽完成磁畴细化处理,磁畴细化处理后的钢板连续移动通过激光室的出口排出到外部。

[0215] 从激光室排出的钢板会经过通过后处理过程清除附着在钢板表面上的隆起和飞溅物的过程。

[0216] 钢板先经过布置在激光室外侧的刷辊,通过抵接在钢板高速旋转的刷辊第一次清除隆起和飞溅物。

[0217] 经过刷辊的钢板经清洁单元通过钢板与碱液的电解反应第二次清除残留的隆起和飞溅物,最终彻底清除隆起和飞溅物。经清洁单元清除隆起和飞溅物的钢板,其最后连续经过检测单元确认形成在钢板表面上的沟槽是否存在缺陷,然后输送到后续工艺。

[0218] 在本实施例中,通过漏磁通检测法检测针对钢板沟槽的漏磁通,以此确认钢板表面上所形成的沟槽有无缺陷。当经过检测单元时,通过磁传感器检测出被磁化器磁化的钢板表面的漏磁通。通过对从钢板的沟槽检测出的漏磁通进行演算,可以确认沟槽是否存在缺陷。

[0219] 图6示出了根据本实施例形成在钢板上的沟槽的缺陷检测结果。图6的(a)示出了沟槽的加工状态良好的检测结果,图6的(b)示出了沟槽的加工状态不良的检测结果。

[0220] 如此,通过测定漏磁通准确地检测出钢板的沟槽加工状态,可以确认是否存在缺陷。

[0221] 如上所述,当通过确认钢板表面上所形成的沟槽有无缺陷的过程检测出沟槽的缺陷时,将会经过针对钢板调整激光焦点位置的矫正过程。

[0222] 在本实施例中,矫正过程可包含:将正常状态的沟槽深度设定为参考值的过程;将检测出的沟槽深度与所述参考值进行比较演算的过程;以及根据演算过程中检测出的沟槽深度偏差调整钢板支撑辊位置或聚光镜位置以调整焦点位置的位置调整过程。

[0223] 当调整钢板支撑辊位置或聚光镜位置时,可以调整聚光镜和钢板之间的距离使其与激光束的焦距一致。下面以本实施例中调整钢板支撑辊位置的情形为例进行描述。

[0224] 正常状态的沟槽深度是在聚光镜和钢板之间的距离与激光束的焦距相同时获得的。在此状态下,焦点准确地聚焦于钢板表面,从而在钢板表面上正常地形成深深的沟槽。如此,在聚光镜和钢板之间的距离与激光束焦距相同的状态下形成在钢板表面上的沟槽的深度被设定为作为正常操作状态标准的参考值。参考值是指作为正常操作状态标准的沟槽深度。

[0225] 在用于加工激光沟槽的初始工艺中,设定参考值的同时,可以经过设定钢板支撑辊位置的初始位置设定过程,以设定激光束焦点位置和钢板位置。

[0226] 初始位置设定过程可以经过如下过程:根据所设定的时间间隔改变钢板支撑辊位置,并检测出基于钢板支撑辊位置变化的沟槽深度变化,通过钢板支撑辊位置和基于该位置的沟槽深度数据演算出沟槽深度最深时的钢板支撑辊位置,根据演算出的值调整钢板支

撑辊位置或照射激光的聚光镜位置。

[0227] 在工艺初期,向钢板照射激光束的同时,根据所设定的时间改变钢板支撑辊的位置,将基于钢板支撑辊位置的沟槽深度作为数据存储。

[0228] 图8用曲线图示出了按照时间的钢板支撑辊位置和基于该位置的沟槽深度变化数据。

[0229] 将钢板支撑辊维持在相同位置的状态下照射激光束,照射时间大于等于5秒,以便能够明确地检测出基于钢板支撑辊位置的沟槽深度。激光束照射完毕后,将钢板支撑辊位置改变一定量,在固定状态下,再次照射激光束,照射时间大于等于5秒。钢板支撑辊位置调整范围设定成激光束的焦点位置位于钢板支撑辊位置调整范围内。

[0230] 如图8所示,随着钢板支撑辊的位置改变,相对于激光束焦点位置的钢板位置改变,进而沟槽的深度会改变。沟槽加工成最深的钢板支撑辊位置就是激光束的焦点位置。

[0231] 为了使激光束的焦点形成在钢板上,聚光镜和钢板之间的距离应该与焦距相同。导出的钢板支撑辊位置上的聚光镜和钢板之间的距离就是激光束的焦距。因此,如上所述逐步改变钢板支撑辊的位置找出焦距,从而可以调好钢板的位置。另外,钢板支撑辊位置设定后激光束的焦点准确地聚焦于钢板,在此状态下得到的沟槽的深度可直接设定为参考值。

[0232] 在目前的情况下,光学系统整修作业或者组件更换之后,重新设定焦点位置时,所需时间为24小时或更多,从而成为降低生产性的原因。相比之下,如上所述,本实施例中用于将焦点对焦于钢板的初始位置设定作业可在30分钟内迅速完成。因此,在本实施例的情况下,通过迅速完成作业,可以维持高生产性。

[0233] 如上所述,当设定钢板支撑辊的初始位置以及设定参考值后,开始正常操作,在钢板表面上以与参考值一样的正常深度连续加工沟槽。

[0234] 在对钢板的激光加工工艺中,当根据光学系统或钢板的状态变化相对于钢板的激光束焦点位置发生变化时,沟槽的形成深度会改变。

[0235] 通过检测单元实时检测钢板表面上所形成的沟槽的实际形成深度。检测单元将检测出的钢板的实际沟槽深度与参考值进行比较演算,以判断是否存在偏差。然后,当产生偏差时,根据检测出的沟槽深度偏差调整钢板支撑辊的位置。由此,工艺过程中钢板的位置改变,从而调整钢板和聚光镜之间的距离。因此,钢板会重新位于激光束焦点位置上,从而矫正沟槽的形成不良,可将沟槽加工性维持在最佳状态。

[0236] 参照图9描述调整钢板支撑辊位置的过程。

[0237] 钢板支撑辊位置调整过程可包含:当偏差大于等于 $2\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊的位置沿着上下方向中的任一方向进行调整的初调步骤;将初调后检测出的沟槽深度与参考值进行比较演算,当演算出的偏差小于 $2\mu\text{m}$ 且大于等于 $1\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊的位置沿着与初调时相同的方向进行补调的补调步骤;将初调后检测出的沟槽深度与参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差大于等于 $2\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊的位置沿着初调时的反方向进行调整的反向调整步骤;将反向调整后检测出的沟槽深度与参考值进行比较演算,当演算出的深度偏差小于 $2\mu\text{m}$ 且大于等于 $1\mu\text{m}$ 时,将钢板支撑辊的位置沿着与反向调整时相同的方向调整DF/2的反向补调步骤。

[0238] 偏差是指沟槽深度的参考值与实际检测出的沟槽深度之差。产生偏差的理由是聚

光镜和钢板之间的距离不同于激光束的焦距时焦点无法准确地聚焦于钢板上。也就是说，因为聚光镜和钢板之间的距离比焦距短或长，所以产生深度偏差。当聚光镜和钢板之间的距离比焦距短时，将钢板相对于聚光镜往下移动，使得远离聚光镜，当聚光镜和钢板之间的距离比焦距长时，将钢板朝聚光镜侧往上移动，从而可以进行矫正。在本实施例中，先将钢板朝一个方向移动后，确认是因聚光镜和钢板之间的距离比焦距短而产生不良，还是因聚光镜和钢板之间的距离比焦距长而产生不良，并根据确认结果实施矫正。

[0239] 在初调步骤中，当偏差大于等于 $2\mu\text{m}$ 时，可将钢板支撑辊的位置调整 $DF/2$ 。 DF 是指焦深 (Depth of Focus)。例如，在初调步骤中，钢板支撑辊的位置可以往下调整 $DF/2$ 。

[0240] 随着钢板支撑辊往下移动，聚光镜和钢板之间的距离会变得更长。在针对沟槽深度的偏差产生理由是聚光镜和钢板之间的距离比焦距短的情况下，通过初调过程，偏差会减少。

[0241] 因此，初调后，重新检查偏差，在偏差进一步减小的情况下，根据偏差值实施补调。也就是说，初调后偏差减小到大于等于 $1\mu\text{m}$ 且小于 $2\mu\text{m}$ 时，通过补调进一步减小偏差。在本实施例中，补调步骤可将钢板支撑辊的位置沿着与初调时相同方向往下进一步调整 $DF/2$ 。通过补调步骤，可以进一步减小偏差。如图9所示，补调过程之后，偏差减小到小于 $1\mu\text{m}$ 时处于沟槽深度的不良得到矫正的状态，通过重复所述过程进行矫正。

[0242] 相反地，初调后，偏差进一步增大时，针对沟槽深度的偏差产生理由是聚光镜和钢板之间的距离比焦距长。

[0243] 因此，将钢板支撑辊的位置往上移动，从而减小偏差。

[0244] 初调后，在偏差没有减小而增大的情况下，将钢板支撑辊的位置往上移动。在本实施例中，将钢板支撑辊的位置往上移动 DF 。由于钢板支撑辊处于初调时往下移动 $DF/2$ 的状态，所以通过往反方向移动 $DF/2$ 使其恢复初调前的状态后，应该再往上移动 $DF/2$ ，以实施矫正。因此，初调后，应该将钢板支撑辊往上移动 DF ，以实施矫正。

[0245] 随着钢板支撑辊往上移动，聚光镜和钢板之间的距离变得更短。由于针对沟槽深度的偏差产生理由是聚光镜和钢板之间的距离比焦距长，因此通过上述的反向调整过程偏差会减小。

[0246] 反向调整后，重新检测偏差，在偏差进一步减小的情况下，根据偏差值实施反向补调。也就是说，反向调整后偏差减小到大于等于 $1\mu\text{m}$ 且小于 $2\mu\text{m}$ 时，通过反向补调进一步减小偏差。在本实施例中，反向补调步骤可将钢板支撑辊的位置沿着与反向调整时相同的方向往上进一步调整 $DF/2$ 。通过反向补调步骤，可以进一步减小偏差。如图9所示，反向补调过程之后，偏差减小到小于 $1\mu\text{m}$ 时处于沟槽深度的不良得到矫正的状态，通过重复所述过程继续进行矫正。

[0247] 如上所述，本实施例通过实时检测对钢板的沟槽加工过程中基于光学系统或钢板的状态变化的激光束焦点位置变化，使得焦点准确地聚焦于钢板上，从而可将沟槽加工性维持在最佳状态。

[0248] [表1]

铁损改善率(%)	
激光照射后	热处理后
9.5	11.6
9.7	12.9
11.5	13.5
8.4	11.6
8.6	11.8
8.5	11.7

[0249] 上表1示出了根据本实施例的基于通过连续波激光束照射形成在厚度为0.27mm的钢板表面上的沟槽的取向电工钢板的铁损改善率。如表1所示,通过本实施例进行磁畴细化处理的钢板,在激光照射后以及用激光进行磁畴细化并热处理后,铁损均得到改善。

[0251] 如上所述,对本发明的示例性实施例进行了描述,但所属领域的技术人员可以进行各种变形以及采用其他实施例。这种变形和其他实施例均被考虑进权利要求书中,可以说脱离本发明的真正的主旨和范围。

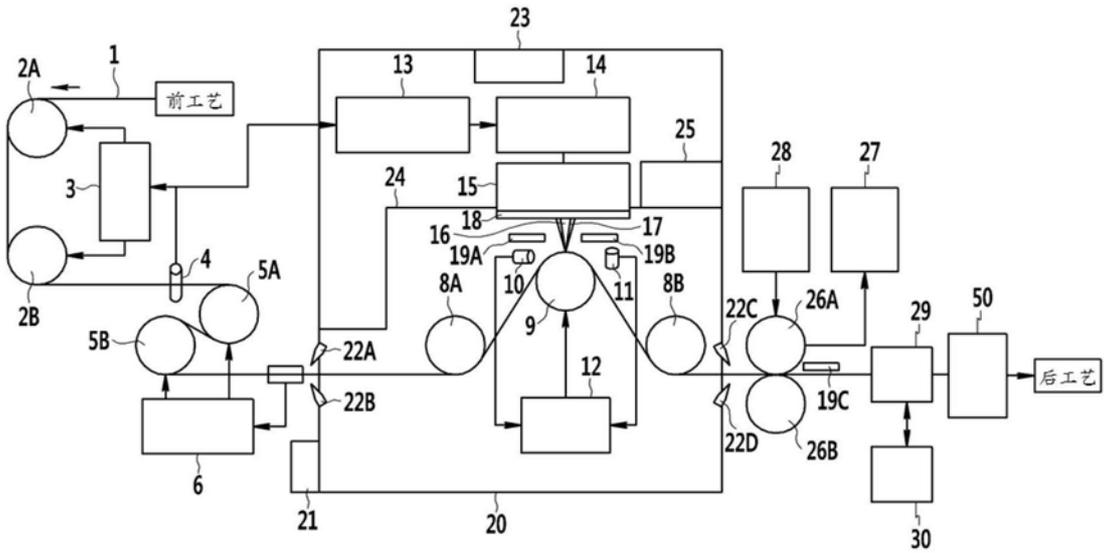


图1

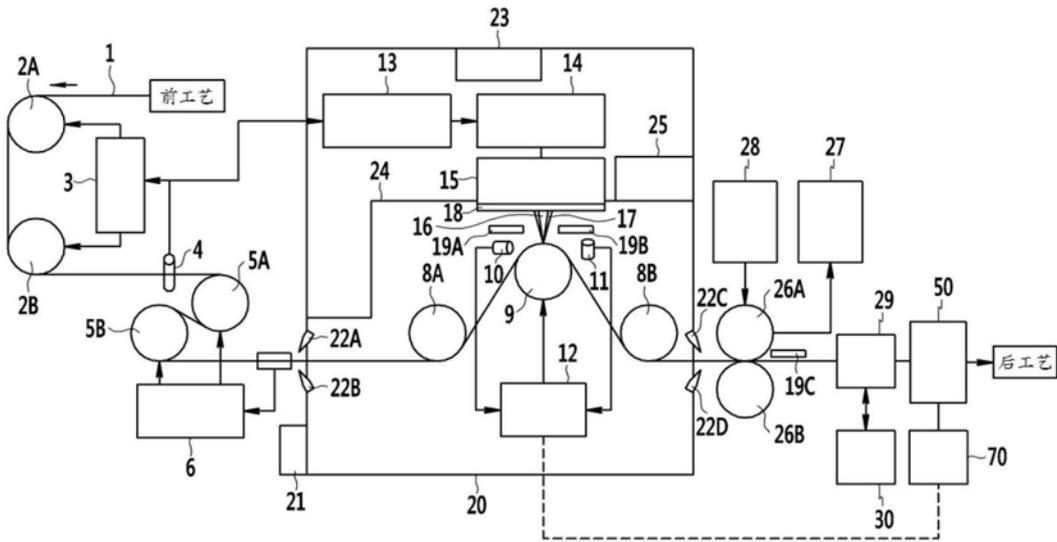


图2

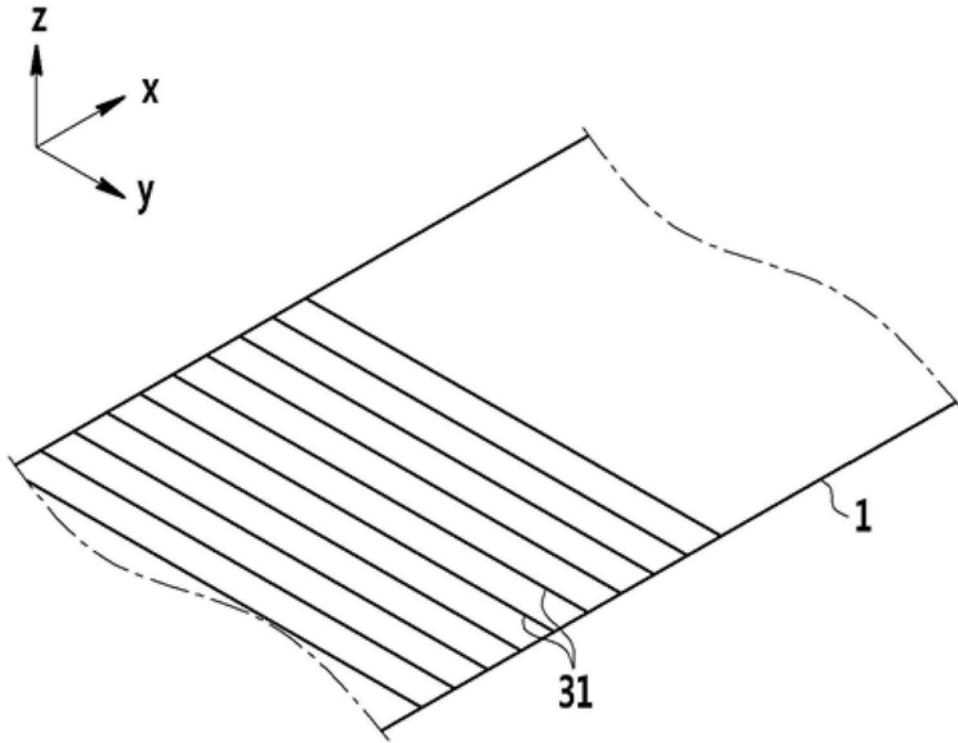


图3

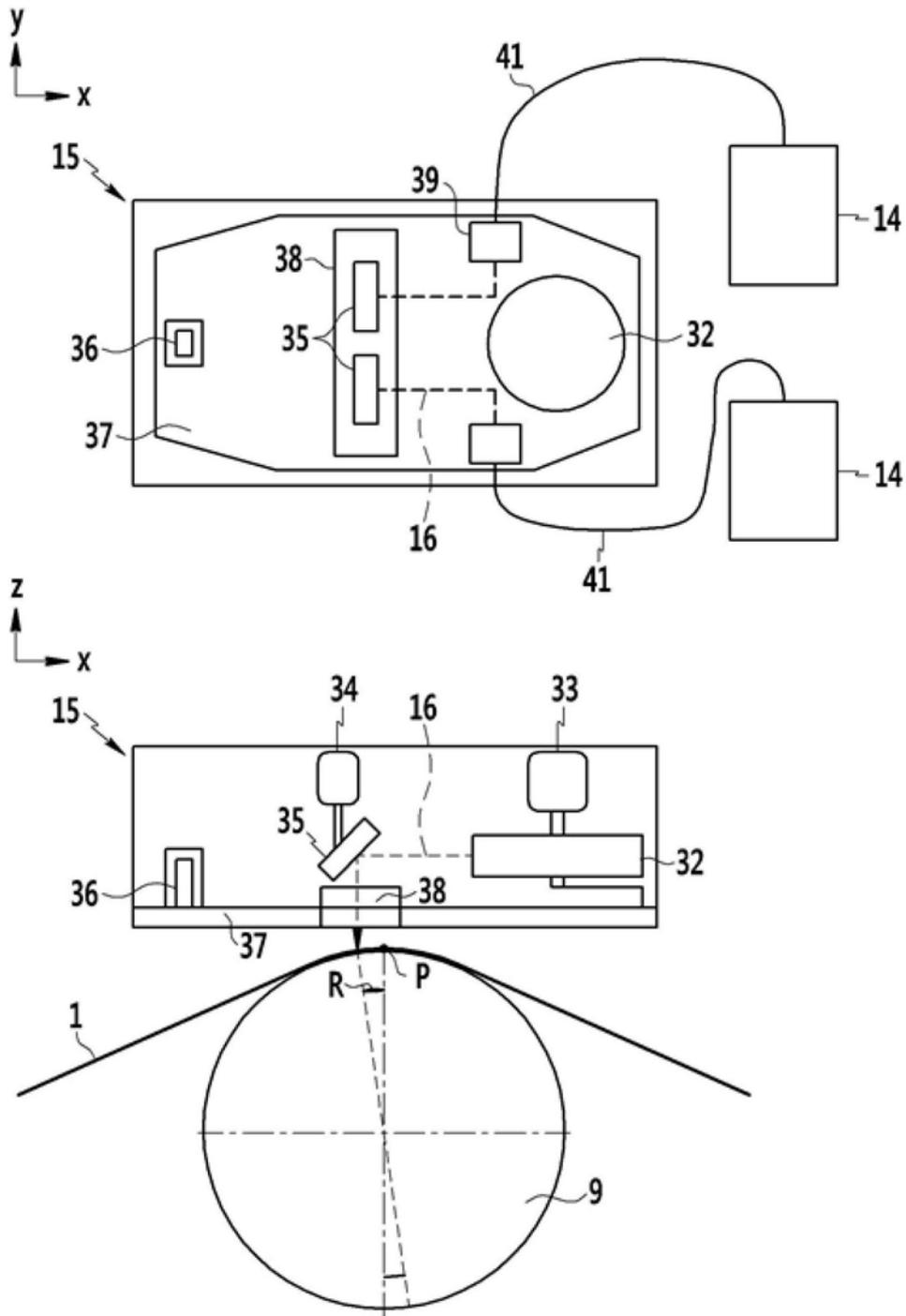


图4

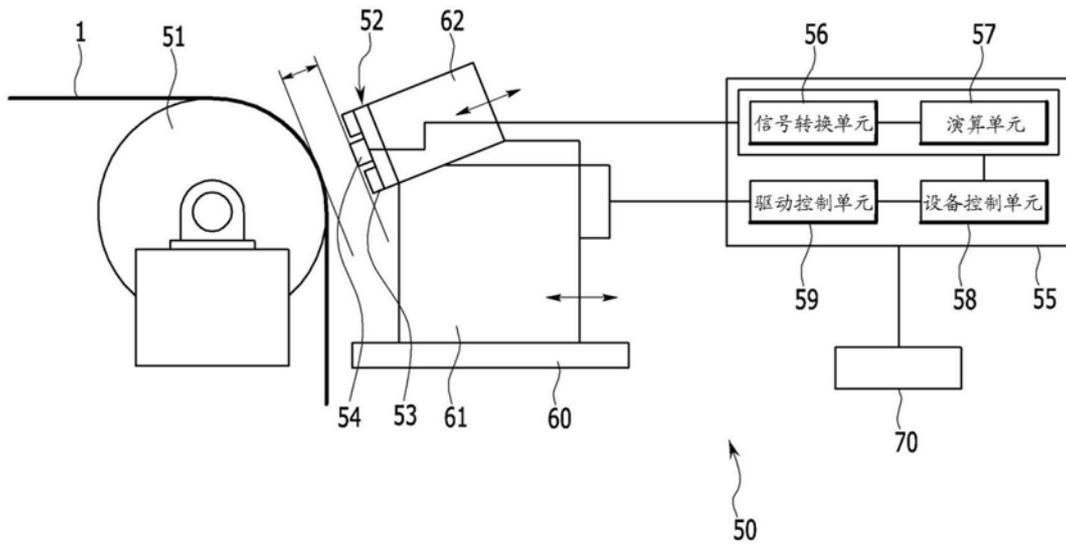


图5

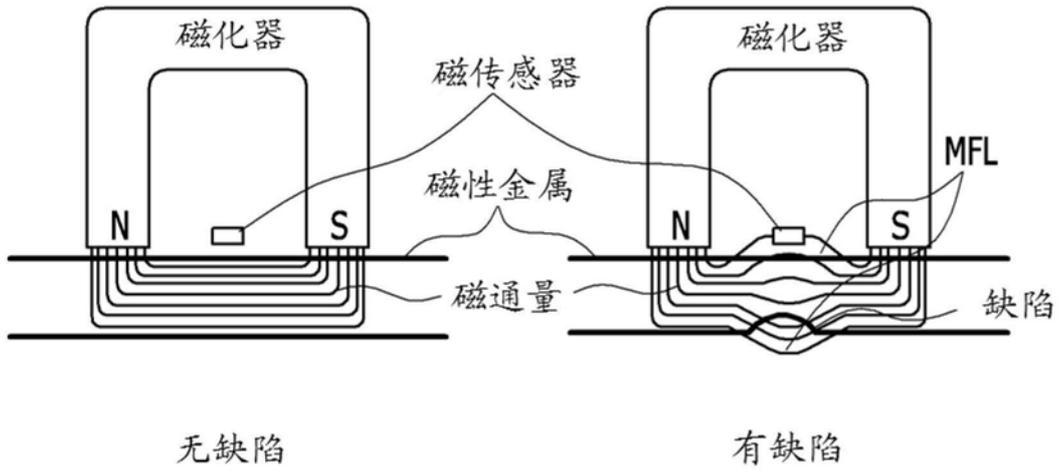


图6

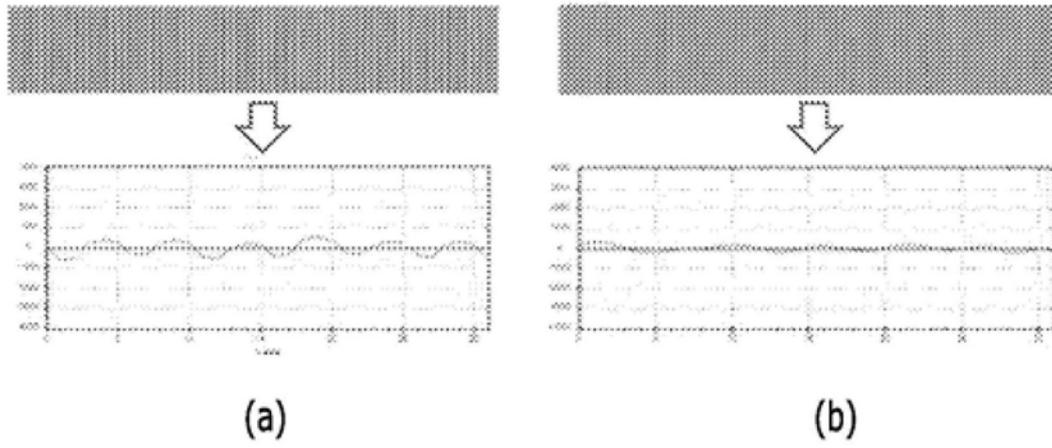


图7

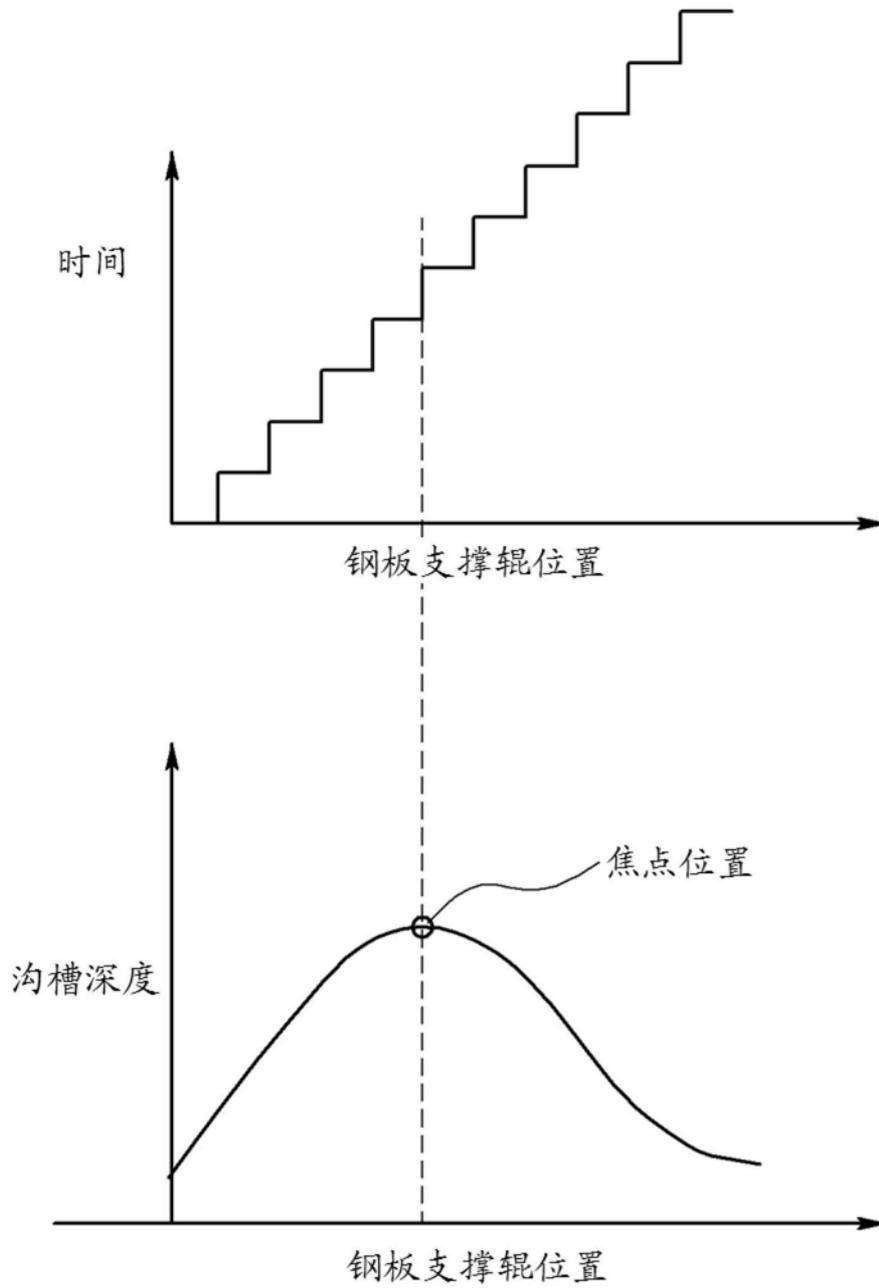


图8

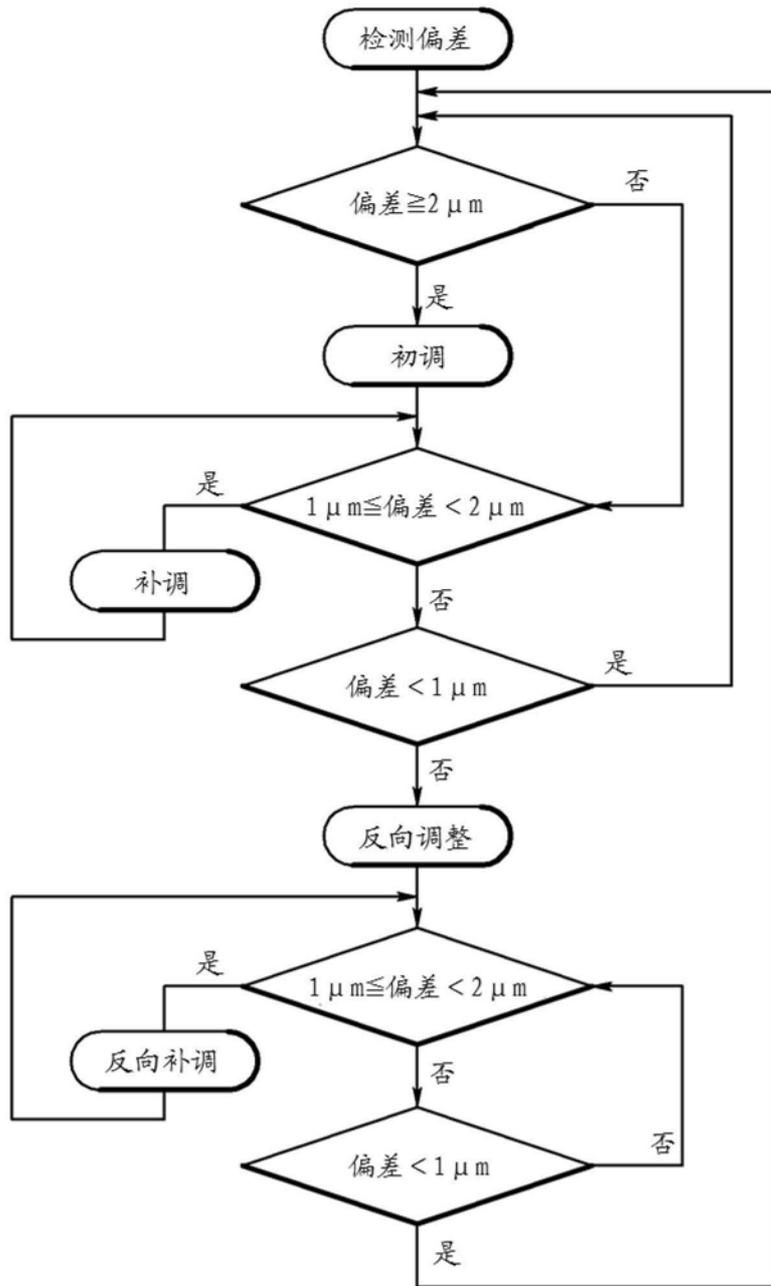


图9