

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99122413.2

[45]授权公告日 2002 年 9 月 4 日

[11]授权公告号 CN 1090242C

[22]申请日 1999.9.30

[21]申请号 99122413.2

[30]优先权

[32]1998.10.6 [33]JP [31]284034/98

[73]专利权人 新日本制铁株式会社

地址 日本东京

[72]发明人 坂井辰彦 南田胜宏 杉山公彦

茂木尚 藤仓昌浩

[56]参考文献

JP57-97606A	1982. 6. 17	C21D8/12
JP7-220913A	1995. 8. 18	H01F1/16
US4322481A	1982. 3. 30	_

审查员 葛松生

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

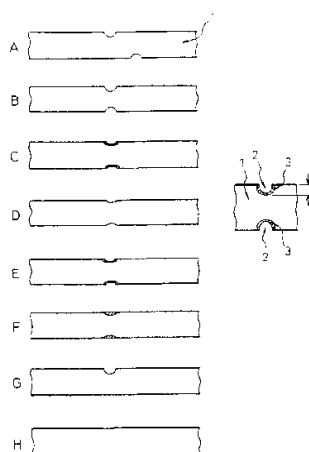
代理人 王以平

权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图页数 3 页

[54]发明名称 磁性能优良的取向性硅钢片及其生产方法

[57]摘要

在取向性硅钢片的两个表面上形成直线或虚线状的、在去应力退火后仍可保留下来的槽和/或热影响层。该槽和/或该热影响层的形成位置的偏差小于该槽和/或该热影响层在滚轧方向上的宽度,所述的两个表面上的槽的深度不大于钢片厚度的5%。此钢片可被用于线束铁芯和叠片芯体,并具有能够减轻生产准备工作负担的优良磁性能。



权 利 要 求 书

1. 一种取向性硅钢片, 其特征在于, 在该钢片的两个表面上形成直线或虚线状的槽和/或热影响层。

2. 一种取向性硅钢片, 其特征在于, 在该钢片两个表面上的完全相同的或略有偏差的位置上形成直线或虚线状的槽和/或热影响层。

3. 一种取向性硅钢片, 其特征在于, 在该钢片两个表面上的完全相同或略有偏差的位置上形成直线或虚线状的槽和/或热影响层, 该槽和/或该热影响层的形成位置的偏差小于该槽和/或该热影响层在滚轧方向上的宽度。

4. 如权利要求 1~3 任一项所述的取向性硅钢片, 其特征在于, 所述的在该钢片的至少一个表面上形成的直线或虚线状的槽的深度不大于钢片厚度的 5%。

5. 一种取向性硅钢片的生产方法, 其特征在于, 直线或虚线状的槽和或热影响层是通过照射高密度能量光束而在该硅钢片的两个表面上形成的。

6. 一种取向性硅钢片的生产方法, 其特征在于, 通过照射高密度能量光束而在硅钢片两个表面上的完全相同或略有偏差的位置上形成直线或虚线状的槽和/或热影响层。

7. 一种取向性硅钢片的生产方法, 其特征在于, 通过照射高密度能量光束而在硅钢片两个表面上的完全相同或略有偏差的位置上形成直线或虚线状的槽和/或热影响层, 该槽和/或热影响层的形成位置偏差小于该槽和/或该热影响层在滚轧方向上的宽度。

8. 如权利要求 5~7 任一项所述的取向性硅钢片的生产方法, 其特征在于, 在该硅钢片的两个表面上或其中一个表面上形成其深度不大于硅钢片厚度的 5% 的直线或虚线状的槽。

9. 如权利要求 5~7 任一项所述的取向性硅钢片的生产方法, 其特征在于, 用激光来形成所述的高密度能量光束。

10. 如权利要求 5~7 任一项所述的取向性硅钢片的生产方法, 其特征在于, 用激光形成所述的高密度能量光束, 并在该硅钢片的两个表面上或其中一个表面上形成其深度不大于硅钢片厚度的 5% 的直线或虚线状的槽。

磁性能优良的取向性硅钢片及其生产方法

本发明涉及一种即使在去应力退火后仍保留有低铁损和高磁通密度的且可被用于叠片磁芯和线束铁芯的取向性硅钢片及其生产方法。

在日本未审查专利公开文献昭 58-26405 中描述了一种取向性硅钢片生产方法。此方法向钢片表面照射激光能量以便形成 180° 的磁畴壁并且细分磁畴，从而降低铁损。根据此方法，钢片表面上的涂膜经激光照射而蒸发，蒸发反应赋予钢片表面以内应力，并在激光照射部分附近形成了闭合磁畴。由此新形成的闭合磁畴增大了静磁能量，但是磁畴被细分了，以致降低了提高的静磁能量，结果可以改善铁损情况。由于通过磁畴细分作用而改善了铁损情况，所以铁损值可以被降低到由材料晶粒取向度决定的最小值。由于此现有技术的方法没有涉及任何会通过其它方式阻碍磁通密度的物理变形，此方法基本上没有激光照射后的磁通密度降低之忧。

由于这些原因，通过这种方法生产出来的取向性硅钢片显示出了理想的磁性。

然而，用作磁畴细分源的内应力在热处理过程中在 500°C 消失，此时降低铁损的效果也消失了。

换句话说，在由现有技术生产出的取向性硅钢片中的降低铁损作用，不能承受在线束铁芯 800°C 左右温度的生产过程中的去应力退火，并因此消失了。

因此，由此方法制成的取向性硅钢片不可能被用于线束铁芯，而只被用于叠片芯体。

因此，人们已经提出了象磁畴细分技术这样的方法，它能够承受去应力退火且它在磁场施加方向上赋予钢片表面以具有彼此不同的导磁率的部分。更确切地说，人们提出了这样的方法和由此制成的不同产品，即在基本垂直于钢片表面滚轧方向的方向上，形成直线的或虚线的具有彼此不同的导磁率的区域。其中，在钢片表面层上形成槽并利用基体金属与空气之间的导磁率之差的所谓磁畴细分技术是一种优良的技术，此技术已经在工业上应用。而且，作为开槽的方法，已提出了一种通过机械方式将齿型轧辊滚轧钢片的方法(日本审查专

利昭 63-44804)、一种采用化学蚀刻方式的方法(US4, 750, 949)、和一种采用脉冲激光加工的方法(日本未审查专利平 7-220913)。

在所有这些由现有技术生产的、具有低铁损和耐去应力退火性能的取向性硅钢片中,槽只形成于钢片的一个表面上。在这种情况下,当钢片厚度为 0.23mm 时,槽深度必须为 $15\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$,以便获得实际有效的降低铁损效果,尽管槽深度是随所用开槽方式不同的。换句话说,必须形成超过钢片厚度 5% 的深槽。由于降低铁损效果明显随槽深度的变化而变化,所以必须仔细控制槽深度。因此,传统产品尚未摆脱在产品性能和生产方法方面的以下问题。

首先,解释产品性能方面的问题。由于实际上在钢片表面上机械地形成了超过 $15\mu\text{m}$ 或钢片厚度 5% 的深槽,所以存在着高磁通密度阻力。换句话说,问题是,与在开槽之前的磁通密度相比,某些外部磁力线中的磁通密度在开槽后明显降低了。另外,由于降低铁损的效果主要随槽深度变化而变化,所以产品铁损性能的波动增大了,除非是充分地控制了槽深度。

其次,将解释生产方法方面的问题。为了通过添加槽来改善铁损,如上所述,需要深度为 $15\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$ 的槽。但是,为了在一米以上宽的钢片的整个范围内形成深槽,生产方法所承受的载荷是很重的,并且在设备成本和工作成本、生产率方面产生了各种问题。在将齿型轧辊滚轧钢片的机械方法中,必须提高作用力以便给钢片开设深槽,因此安装规模增大。当齿型轧辊磨损时,槽变浅了,而出现了另一个问题,即必须经常更换齿型轧辊。化学蚀刻方法需要很长的蚀刻时间,因此生产率受到限制。为了提高蚀刻效率,必须使用长蚀刻容器。在激光开槽方法中,也必须提高激光能以便开设深槽。因此,设备大型化了且需要许多大型激光发生器。

在激光开槽方法中,如果提高激光照射功率,则对照射部分的外周部位产生了过度的热影响,结果在整个钢片上出现了膨胀变形。如果堆叠这样的钢片来制造叠片芯体的话,铁损增大了或者线圈间隙系数变差了。因此,用激光开设深槽的钢片仍被钢片不能被用于叠片芯体的问题困扰。

激光开槽方法是一种很出色的技术,这是因为它可以进行非接触式高速加工并具有简单的工序,而且它在槽深度控制能力和槽形成位置定位精度方面非常杰出。但是,它牵涉到这样的问题,即当要形成深槽时,此方法对照射部分的外周部位施加了过度的热影响并造成将不利地影响磁性的钢片变形。

本发明的目的是提供一种磁性优良的取向性硅钢片，它能够承受在线束铁芯生产过程中实施的去应力退火，具有磁畴细分效果并且可被用于线束铁芯，能够稳定地减少铁损，且没有磁通密度变差之忧，本发明的钢片能够限制变形，可用于叠片芯体，并能够减轻生产准备工作负担。本发明的目的还在于提供一种生产这种取向性硅钢片的方法。

本发明人利用激光开槽方法在取向性硅钢片上形成了各种槽和/或热影响层并在对钢片去应力退火后检验了磁性能。结果发明人发现，与那些传统的取向性硅钢片的性能相比，通过在钢片的两个表面上形成了这些槽和/或热影响层而获得了极优良的磁性。

本发明是在上述发现的基础上获得的，而且本发明的要点在于以下几点。

在本发明中，在钢片的两个表面上形成即使在去应力退火后仍可保留下来的直线的或虚线的槽和/或热影响层。由此，铁损被降低到最小程度。由于铁损降低量几乎与槽深度无关，所以取向性硅钢片的磁性变化小。由于在本发明中不必严格控制降低铁损所需的槽深度，所以取向性硅钢片不会给生产准备工作增加严重负担。在本发明中，钢片两个表面上的槽深度被限制到不大于钢片厚度的5%。因此，本发明的取向性硅钢片几乎没有磁通密度降低之忧。在本发明中，槽和热影响层在钢片两个表面上的形成位置是成对的，其定位偏差在滚轧方向上不大于槽和/或热影响层的宽度。因此，钢片可以产生良好的铁损降低效果并同时没有是叠片芯体钢片问题的膨胀变形之忧。因此，钢片可以被用于叠片芯体和线束铁芯。另外，由于本发明采用了高能光束且尤其是连续波或脉冲激光，所以本发明可提供了一种取向性硅钢片的生产方法，能够位置十分精确地在钢片的两个表面上形成槽和/或热影响层。

顺便提一句，本发明所限定的热影响层是通过照射高能束如激光、电子束等而形成的位错和/或熔化/重凝固层，或者说，具有不同于钢片基体金属的导磁率并且其层体积能够对钢片产生磁畴细分作用的层。可以通过用显微镜观察钢片断面而简单地确认热影响层。

图1(a)是表示取向性硅钢片不同截面形状的截面图，其中钢片A-F示出了在两个表面上具有槽和/或热影响层的本发明的取向性硅钢片的截面形状；钢片G示出了耐去应力退火的现有技术的取向性硅钢片的截面形状，其中槽形成于其中一个表面上；钢片H表示不耐去应力退火的取向性硅钢片的截面形

状，其中磁畴仅通过激光照射钢片膜发生蒸发反应而被细分。

图 1(b) 是图 1(a) 所示的各种截面形状上的槽和热影响层的放大视图。

图 2(a) 是解释在本发明的取向性硅钢片的两个表面上的槽形成位置的偏差的说明图。

图 2(b) 和图 2(c) 是表示对具有本发明的槽和/或热影响层的取向性硅钢片进行去应力退火后的表面粗糙度测量结果的视图。

图 3(a) 是表示取向性硅钢片，并用来说明本发明的生产方法的视图。

图 3(b) 是表示图 3(a) 所示的虚线的槽的局部（图 3(a) 中的白圈 O 部分）的放大图。

首先，描述本发明的取向性硅钢片的生产方法。

根据本发明的取向性硅钢片生产方法，在取向性硅钢片的两个表面上形成槽，或槽及热影响层，或只形成热影响层。这些槽和/或热影响层可以通过利用激光能、电子束、离子束、等离子体等的高能加工技术适当地形成。其中，作为本发明取向性硅钢片生产方法，从射束照射位置精度、槽和/或热影响层形成的可控性以及空气利用性考虑，与采用其他能束的方法相比，最优选利用激光的技术（激光加工）。

尽管激光加工是最适用的，但是根据本发明的取向性硅钢片的范围还包括那些只在钢片的两个表面上形成了槽而没有热影响层的取向性硅钢片。因此，不依靠加热的蚀刻方法或齿型轧辊加工方法也可以被用作本发明的生产方法。另外，如果只在终产品表面层上形成耐退火热的槽和/或热影响层，则仍然可以保证实现本发明的目的。因此，槽和/或热影响层可以在普通的取向性硅钢片生产工艺的任何工序中形成。

以下，描述本发明的取向性硅钢片，其中作为例子，激光被用作高能束源。

当向钢片照射激光能时，如果激光能量密度很高且其照射时间短，则钢片基体金属在照射部分立即熔化并且几乎所有的照射部分都蒸发了，由此形成了槽。此时，略微在如此形成的槽的侧面和底面上形成了热影响层。但是，由于此热影响层体积很小，所以热影响层本身没有显示出磁畴细分作用，尽管其导磁率不同于基体金属的导磁率。因此，在本发明限定的热影响层中不包括这样的热影响层。另外，由此形成的槽基本上与完全不依靠加热如通过蚀刻方式形成的槽一样。

接着,在向钢片照射激光能时,如果延长照射时间或者降低能量密度,则照射部分的金属不蒸发。结果,从熔化态再次凝固的那些成分增加了,由此形成了槽。同时,厚度基本上等于槽深度的且具有位错和/或熔化/重凝固层的热影响层也形成了。由于此热影响层的导磁率不同于基体金属的导磁率,所以它象槽那样地改变了磁场。换句话说,此热影响层具有磁畴细分效果。因此,本发明所限定的热影响层包括此热影响层。

当向钢片照射激光能时,如果继续降低激光能量密度,则照射部分的金属未达到熔点,形成没有形成槽的位错和/或熔化/重凝固层。即使在这样的情况下,激光照射部分仍具有一定的反复的加热-冷却周期并且其导磁率因而与基体金属导磁率是不同的。结果,此层显示出磁畴细分作用。因此,本发明所定义的热影响层也包括此层。

如上所述,本发明可以提供一种取向性硅钢片,它具有高磁通密度和低铁损并具有很稳定的性能并可被用于叠片芯体和线束铁芯。在本发明中,要形成的槽较浅且不需要严格控制槽深度。因此,可以减轻生产准备工作的负担。当高能束尤其是激光束被用于本发明的生产方法时,可以高精度地且容易地形成最佳的槽和/或热影响层。

下面,将结合例子进一步具体描述本发明。但是,这些例子仅仅是示例性的,而绝不是限制性的。

例 1:

图 3(a)是用于描述本发明的取向性硅钢片及其生产方法的说明图。用来自激光器(未示出)的被透镜 5 聚焦的脉冲激光束 4 形成虚线的槽和/或热影响层,其中在 L 方向上的间隙 PL 等于 6.5mm。图 1(a)示出了具有这样形成的槽和/或热影响层的取向性硅钢片的各种截面形状,图 1(b)放大地示出了如此形成的槽 2 和/或热影响层 3。在图 1(a)所示的钢片 A-G 中,聚焦的激光束直径在 L 方向上为 0.1mm,而在 C 方向上为 0.3mm。由这样的能束形成的虚线的槽的宽度分别在 L 方向上为 $WL=0.13\text{mm}$,而在 C 方向上为 $WC=0.31\text{mm}$ 。虚线的间隙 PC 在 C 方向上为 0.3mm。因此,如图 3(b)所示,在 C 方向上的虚线的槽彼此相邻。在这里,槽深度定义为图 1(b)所示的最大深度值 d。两个表面上的槽形成位置偏差定义为图 2(a)所示的值 g。

表 1 示出了各钢片磁性评价结果。在这里,铁损值在 50 赫兹时为 W17/50,

最大磁通密度为 1.7T。磁通密度在磁化力为 0.8A/m 时为 B8。钢片是厚为 0.23 毫米且在其表面上有绝缘膜的取向性硅钢片。为了对比，激光内应力降低其铁损且只能用于叠片芯体的钢片的磁性能也在表中示出。以下列出了激光照射条件、各钢片的槽和热影响层等的条件。而且，是通过显微镜观察钢片截面来确认槽和热影响层的存在。

表 1

钢片	一个表面上 的槽的深度	处理表面	表面条件	在激光照射前		在激光照射后		铁损变化量 $\Delta W_{17/50}$ (W/kg)*	磁通密度 变化量 ΔB_8 (高斯)*
				铁 损 $W_{17/50}$ (W/kg)	磁通密度 B_8 (T)	铁 损 $W_{17/50}$ (W/kg)*	磁通密度 B_8 (T)*		
A	30 μ m	两个表面 ($g=1.5$ mm)	只有槽	0.799	1.927	0.752	1.889	-0.047	-380
B	30 μ m	两个表面 ($g=0.1$ mm)	只有槽	0.799	1.926	0.754	1.868	-0.045	-580
C	10 μ m	两个表面 ($g=0.1$ mm)	槽+热影响 层	0.799	1.925	0.748	1.922	-0.051	-30
D	5 μ m	两个表面 ($g=0.1$ mm)	只有槽	0.800	1.925	0.752	1.924	-0.048	-10
E	5 μ m	两个表面 ($g=0.1$ mm)	槽+热影响 层	0.800	1.925	0.751	1.924	-0.049	-10
F	无槽	两个表面 ($g=0.1$ mm)	只有热影响 层	0.800	1.926	0.753	1.925	-0.047	-10
G (现有技术)	30 μ m	一个表面	只有槽	0.799	1.927	0.754	1.870	-0.045	-570
H (现有技术)	无槽	一个表面	只有表面层 应力	0.799	1.925	0.750	1.924	-0.049	-10

*钢片 A ~ G 的值代表去应力退火后的值。

钢片 A:

深 $30\mu\text{m}$ 的槽通过 Q 开关脉冲二氧化碳激光在钢片的两个表面上形成。Q 开关脉冲二氧化碳激光的能量密度最高值约为 $10\text{MW}/\text{mm}^2 \sim 30\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $20\mu\text{s}$ 。通过高峰脉冲加工方法使激光照射部分几乎完全蒸发了。在照射部分没有本发明限定的热影响层而只有槽。在钢片两个表面上的槽形成位置偏差 g 约等于 1.5 毫米并大于槽在 L 方向上的宽度 WL。

钢片 B:

深 $30\mu\text{m}$ 的槽通过 Q 开关脉冲二氧化碳激光形成在钢片的两个表面上。在这里，Q 开关脉冲二氧化碳激光的最大能量密度约为 $10\text{MW}/\text{mm}^2 \sim 30\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $20\mu\text{s}$ 。激光照射部分几乎完全蒸发了。在照射部分没有本发明限定的热影响层而只有槽。在钢片两个表面上的槽形成位置偏差 g 约等于 0.1 毫米并小于槽在 L 方向上的宽度 WL。

钢片 C:

深 $10\mu\text{m}$ 的槽通过脉冲调制二氧化碳激光形成在钢片的两个表面上。脉冲激光的能量密度最高值约为 $0.4\text{MW}/\text{mm}^2 \sim 0.8\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $20\mu\text{s}$ 。由于脉冲最高能量的降低，所以在照射部分混合地出现了本发明限定的热影响层和槽。在钢片两个表面上的槽形成位置偏差 g 约等于 0.1 毫米并小于槽在 L 方向上的宽度 WL。

钢片 D:

深 $5\mu\text{m}$ 的槽通过 Q 开关脉冲二氧化碳激光形成在钢片的两个表面上。在这里，Q 开关脉冲二氧化碳激光的能量密度最高值约为 $10\text{MW}/\text{mm}^2 \sim 30\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $12\mu\text{s}$ 。通过高峰脉冲加工方法几乎完全蒸发了激光照射部分。在照射部分没有本发明限定的热影响层而只有槽。在钢片两个表面上的槽形成位置偏差 g 约等于 0.1 毫米并小于槽在 L 方向上的宽度 WL。

钢片 E:

深 $5\mu\text{m}$ 的槽通过脉冲调制二氧化碳激光形成在钢片的两个表面上。脉冲激光的能量密度最高值约为 $0.4\text{MW}/\text{mm}^2 \sim 0.8\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $12\mu\text{s}$ 。由于脉冲最高能量的降低，所以在照射部分混合地出现了本发明限定的热影响层和槽。在钢片两个表面上的槽形成位置偏差 g 约等于 0.1 毫米并小于槽在 L 方向上的宽度 WL。

钢片 F:

通过脉冲调制二氧化碳激光在钢片的两个表面上只形成热影响层。在这里，脉冲激光的能量密度最高值约为 $0.2\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $7\mu\text{s}$ 。由于脉冲最高能量降低，所以在照射部分只存在本发明限定的热影响层。在钢片两个表面上的槽形成位置偏差 g 约等于 0.1 毫米并小于热影响层在 L 方向上的宽度 WL 。

钢片 G:

钢片 G 是传统的钢片，其中深 $30\mu\text{m}$ 的槽通过 Q 开关脉冲二氧化碳激光只形成在钢片的一个表面上。在这里，Q 开关脉冲二氧化碳激光的能量密度最高值约为 $10\text{MW}/\text{mm}^2 \sim 30\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $20\mu\text{s}$ 。通过高峰脉冲加工方法使激光照射部分几乎完全蒸发了。在照射部分没有本发明限定的热影响层而只有槽。

钢片 H: 通过 Q 开关脉冲二氧化碳激光从钢片的一个表面上只蒸发掉表面膜。这是其铁损是通过激光内应力得以降低的钢片。最大功率为 $0.1\text{MW}/\text{mm}^2$ ，脉冲时间总宽度等于 $4\mu\text{s}$ 。只有在此钢片中，C 方向上的虚线间隙 PC 等于 0.5 毫米。聚集照射能束是直径为 0.40 毫米的圆形激光束。而且，不对此钢片进行去应力退火。

钢片 A ~ 钢片 G 的磁性比较结果表明，根据本发明的在钢片的两个表面上具有槽和/或热影响层的取向性硅钢片的铁损降低量，等于或大于只在钢片一个表面上具有类似槽的传统取向性硅钢片的铁损降低量。换句话说，即使当就两个表面的槽深度之和进行比较时，本发明的取向性硅钢片也能够产生降低铁损的作用，这种作用等于或强于现有技术的降低铁损作用，因为本发明的槽比只在其一个表面上开槽的现有技术的钢片的槽浅。还发现，在极端情况下几乎不需要形成槽。

因此，尽管激光给表面带来内应力而降低了铁损，但是显然在两面上开设槽的本发明的取向性硅钢片不仅仅是为了改善铁损对只在一面上开槽的传统取向性硅钢片的改进，或者不仅仅是对不耐去应力退火的传统取向性硅钢片的改进。

由于激光照射而产生的表面膜蒸发反应造成内应力的钢片 H (现有产品) 的铁损被降低到约等于一个由晶体取向度决定的极限值。相反，两面都有槽和

/或热影响层的取向性硅钢片可以提供—个等于前者的铁损值。当比较钢片 A~钢片 F 的铁损降低量时,会发现,无论从槽几乎不存在到槽深 $30\mu\text{m}$ 的槽深度是多少,铁损量都基本上保持不变。

当比较磁通密度 B8 改变量时,会发现在根据本发明形成的钢片 C~钢片 E 中,形成有其深度不大于 $10\mu\text{m}$ (相当于等于或小于钢片厚度的 5%) 的槽,其 B8 改变量不大于 30 高斯且磁通密度 B8 几乎不变。这是因为阻碍磁通密度的槽很浅。

因此,无论形成于钢片表面层上的槽有多深,都可以通过本发明稳定地降低铁损值。换句话说,几乎没有磁通密度降低现象的取向性硅钢片是可以通过形成深度不大于 5% 的槽而获得的。

下面,将说明当在钢片两个表面的成对位置上形成槽和/或热影响层时所产生的效果。如上所述,图 2(a) 是表示用激光加工方法在钢片的两个表面上形成的槽形成位置偏差 g 和这些槽在滚轧方向上的宽度 W 的说明图。图 2(b) 和图 2(c) 示出去应力退火后的钢片表面粗糙度的测量结果,即表面膨胀变形量 h 。这些图中的符号 X 代表槽位置。可以从这些图中看到,当位置偏差 g 小于槽宽度 W 时,表面膨胀变形量 h 几乎没有,(在图 2(b) 中,当 $W (=0.13\text{mm}) < g (=0.30\text{mm})$ 时, $h=5\mu\text{m}$,在图 2(c) 中,当 $W (=0.13\text{mm}) > G (=0.10\text{mm})$ 时, $h\approx 0$)。这是因为由基体金属在熔化/重凝固过程中的沉积引起的变形,在两个表面上相抵消,且最终限制了进一步变形。当通过堆叠这样的钢片来制造叠片芯体时,与当堆叠无槽钢片时的情况相似地,不会出现铁损性能和磁通密度因形变应力而变差的现象。

在本发明中,通过在钢片两个表面上形成槽而抵消了表面变形。从而,可以向钢片加入局部内应力。而且相信此局部内应力也具有磁畴细分的作用。

尽管此实施例描述了通过脉冲激光形成虚线的槽的情况,但当然也可以通过连续槽获得相同的效果。

图 1(a)

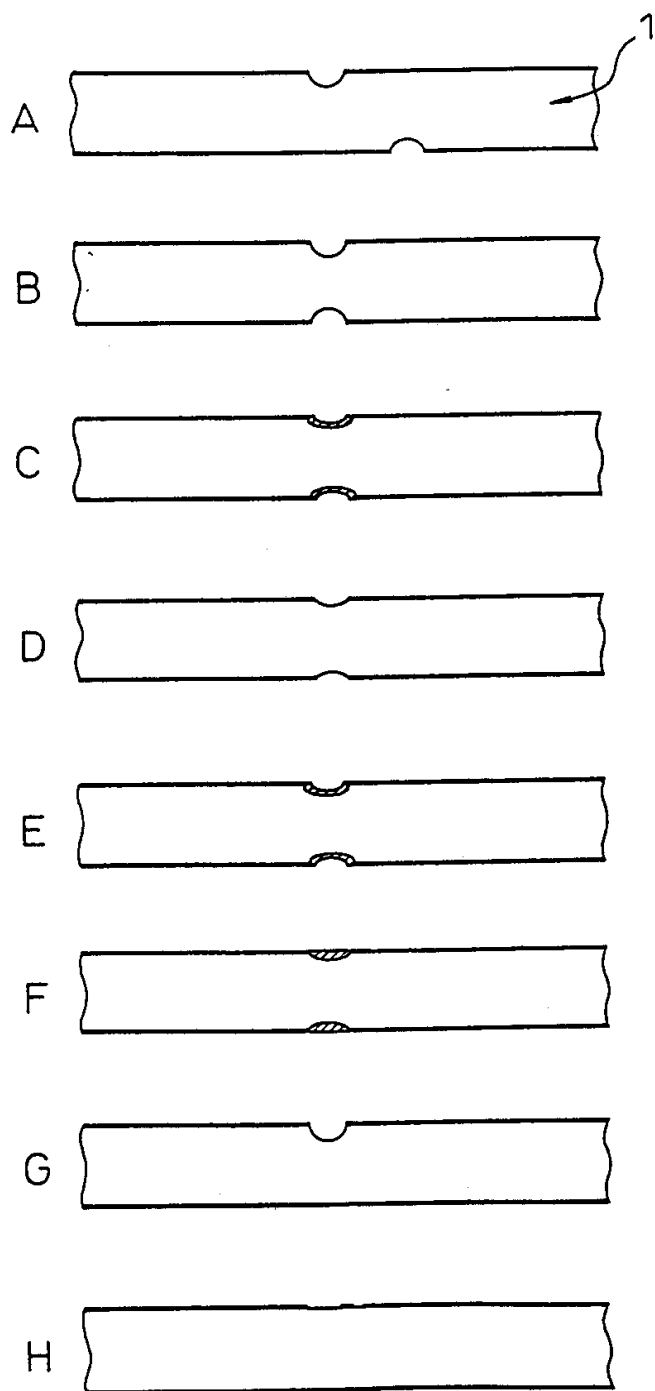


图 1(b)

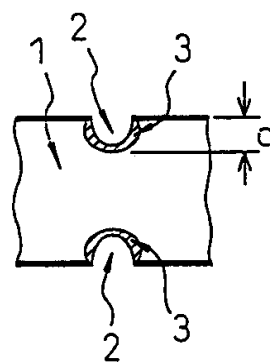


图 2(a)

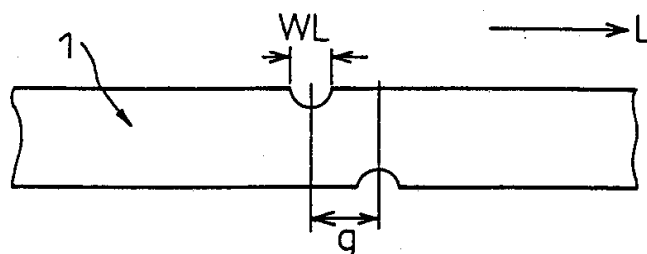


图 2(b)

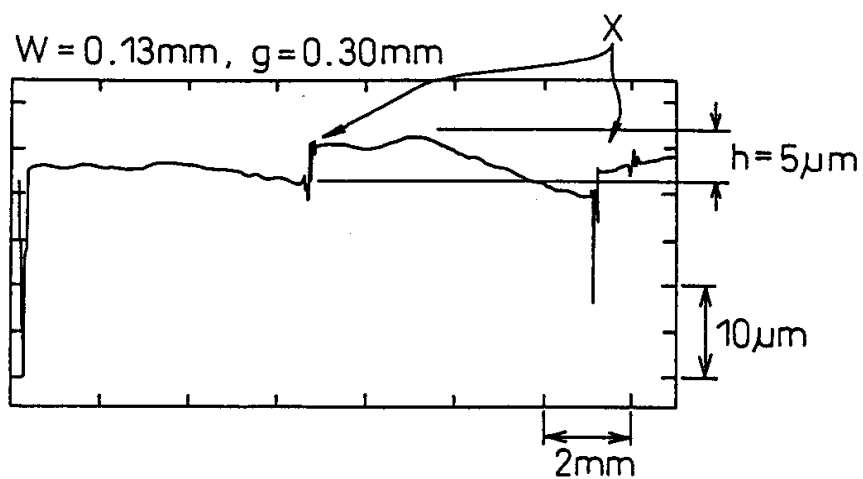


图 2(c)

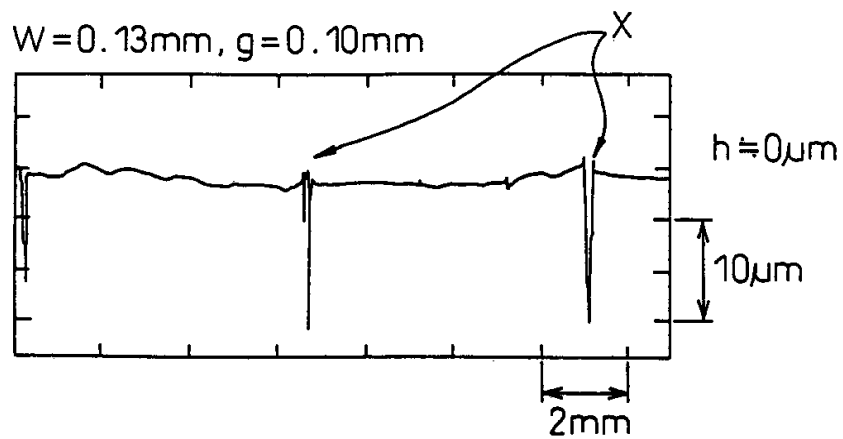


图 3(a)

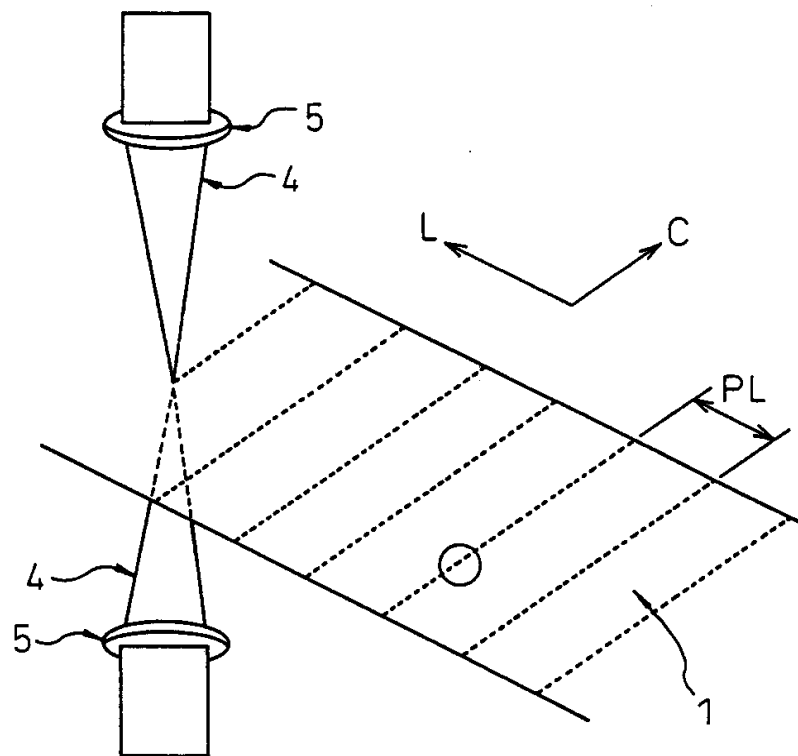


图 3(b)

