[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
C21D 8/12

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00808070.4

[45] 授权公告日 2005 年 10 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 1221673C

[22] 申请日 2000.5.19 [21] 申请号 00808070.4
[30] 优先权
[32] 1999. 5.26 [33] IT [31] RM99A000334
[86] 国际申请 PCT/EP2000/004577 2000.5.19
[87] 国际公布 WO2000/073517 英 2000.12.7
[85] 进入国家阶段日期 2001.11.26
[71] 专利权人 阿奇亚斯佩丝阿里特尔尼公司
地址 意大利特尔尼
[72] 发明人 格博·班
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 李 强

权利要求书 2 页 说明书 10 页

[54] 发明名称 通过激光处理改善晶粒取向电工硅钢片的磁学特性的方法

[57] 摘要

已经发现，在用于对晶粒定向电工硅钢片中的磁畴尺寸控制的激光处理过程中，通过优化诸如单位辐射能、划线条带之间的距离、扫描速度以及停留时间等的基本处理参数，可以使得磁致伸缩、感应以及磁芯损耗同时得到改善。

ISSN1008-4274

1. 一种通过激光处理提高晶粒取向电工硅钢片的磁学特性的方法，其中，用具有 10.46μm 波长的连续发射的 CO_2 激光对晶粒取向硅钢条带进行处理，以沿与该带的运动方向大体横向的一个方向对该带进行连续扫描，该晶粒取向硅钢条带已经过二次再结晶退火并具有通常的终覆层，其特征在于如下预先选择的操作参数：单位辐射能、停留时间和激光束在钢片上的两连续径迹之间的间距，在 0.1-25mJ/mm^2、1×10^{-6}s－1×10^{-2}s 和 2－12mm 的范围内得到连续调整，以优化在激光束处理前和处理后连续测量到的、在磁致伸缩、磁感应和铁损中选择的条带磁特性中的至少一个特性的改善，而不损伤所述涂层。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，单位辐射能在 2-8mJ/mm^2 之间。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，单位辐射能在 3-5mJ/mm^2 之间。

4. 根据权利要求 1－3 中任何一项所述的方法，其特征在于，停留时间在 1×10^{-5}s－1×10^{-3}s 之间。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中，停留时间在 1－8×10^{-4}s 之间。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，两连续线之间的距离保持在 3.5－8mm 的范围内。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中，两连续线之间的距离值低于平均晶粒尺寸 10－20%。

8. 根据权利要求 1 所述的方法，其中激光器束的扫描速度、激光束点的横向尺寸和激光光学系统的多边镜的转速分别在 800－10000 米/分钟、1－60 毫米、100－10000 转/分钟的范围内得到调节。

9. 根据权利要求 8 的方法，其中所述扫描速度在 1500－6000 米/分钟的范围内。

10. 根据权利要求 8 的方法，其中激光束点的横向尺寸在 5－10 毫

米的范围内。

11. 根据权利要求 10 的方法，其中所述横向尺寸在 7－40 毫米的范围内。

12. 根据权利要求 8 的方法，其中所述多边形镜的转速在 600－6000 转/分钟的范围内。

通过激光处理改善晶粒取向电工硅钢片的磁学特性的方法

技术领域

本发明涉及通过激光划线（scribe）改善晶粒取向电工硅钢片的磁学特性的方法，更具体而言，涉及为了改善未经处理的钢片的磁感应特性、损耗以及磁致伸缩，对终退火后的钢片进行辐射的方法。

背景技术

晶粒取向电工硅钢片主要用于变压器的磁芯。在这种用途方面，特别在七十年代以及最近由于对能量节约的越来越多的关心所导致的石油危机之后，材料最受重视的磁学特性之一与所谓的铁损或者说损耗有关，即，与在变压器工作过程中的能量损耗量有关。损耗由按磁芯重量的千克数计算的瓦特表示，并且它取决于不同因素且尤其取决于磁畴壁的移动，该磁畴壁定义为在材料中的其中参予铁磁性的电子具有平行的自旋以使磁矩不为零的区域。在硅磁钢片中，单个畴内的磁矩根据容易磁化的方向取向，即，根据结晶方向<100>取向。畴壁为相邻的畴之间的区域，磁矩通过这些畴旋转，并且它们的特性由该旋转的值决定，因此我们讨论 180°和非 180°壁(在这种材料里为 90°)。

在非磁化状态下，磁矩的矢量和为零，在外加场里，初始磁化基本上通过畴壁的移动产生，该畴壁优先与外加场同向，以减少能量并通过其它畴的壁作 180°的侧向移动而生长。较高的畴壁可动性使得磁化较为容易，因此畴壁的移动需要较少的能量。与畴壁的 180°移动相关的能量的损耗由于电动势而产生，该电动势由于与该移动相反的畴壁的移动而产生。

已经发现，这种损耗的成分和 180°壁之间的距离与钢片厚度之间的比成比例。且已经发现，损耗也取决于钢片晶粒尺寸以及晶粒相对于钢片表面的晶格方向。

因此，最明显且最直接的选择包含：具有高度定向的晶粒的硅钢片，该硅钢片具有给定的晶粒尺寸以及低的厚度。

至今仍在进行的努力已经产生出色的结果，从制造的观点看，这些结果不能通过可以想见的方法得到进一步的提高。特别地，可以发现晶粒的优选尺寸在 4mm 左右，当考虑到钢片的厚度时，该尺寸低于某值对于该方法的成本是不合适的，并且，由于钢片体积与所需绝缘涂层体积的比率(称为“距离因素”)降低太多，因此磁芯中相当多的部分会被绝缘涂层占据。

因此，已考虑影响铁损的其它因素，尤其是与磁畴尺寸有关的因素。

首先，已发现对钢片施加拉力，就会在钢片平面上引起各向异性，当存在这些材料(高斯结构)的典型结构时，就会增加平行于轧制方向的结晶方向<100>和垂直于轧制方向的方向<011>之间的磁化能差异。因此，静磁能与有利于畴壁能的畴壁移动的静磁能之间的平衡使得大量畴壁的形成变得较薄且较近。通过这种方法，会使得影响总损耗值的涡流大幅减少。因此 ，已发展了可以实现这种改善的张力绝缘涂层。

但是，自从 1924 年，已提出这种张力也可以通过产生局部压缩微应力而获得，根据这个观点，提出了对钢片进行喷丸处理或用钻头(drill)、刀口(blade)或者带有浮凸物（ relieve ）的轧辊(roll)进行机械划线，虽然这种方法有效并且可以改善高温下抗热处理的能力，但具有以下缺点：从加工的角度来看难以应用，并且破坏了钢片的绝缘层，使得暴露部分迅速氧化，因此需要另外的绝缘涂层，并且在划线或压缩区的边缘形成粘附物(bur)或者浮凸物(relieve)，就会降低磁芯的间距值，使得短路更加频繁。

下一步与用激光束、电子束和等离子等形式的聚集能量脉冲对钢片表面处理有关。

J. W. Schoen A. L. Hollen 的题目为“定向电工钢的畴细化：从早期开始到现有的技术”的文章清楚地说明了在这个主题上包括第一次实验的所有结果，特别说明了激光划线处理，该文章在 1986 年 10 月 4－9 日在佛罗里达的奥兰多召开的“1986 ASM 材料周会”上发表。

在该文中，图 7 至 9 连同文中与其相关的讨论，说明了通过细化磁畴获得的改善与激光处理后的磁致伸缩条件有关，因为磁致伸缩变化表明在激光处理的区域中引起的非 180°壁比例的数量测量(quantitative measure)；最好的细化畴结果在磁致伸缩增加时得到。这种情况也可以在其它文件中发现；例如在欧洲专利 No.87587 中通过激光束对电磁钢片的辐射方法，该专利优先日为 1980 年 1 月 25 日。该发明包含在激光处理后对钢片施加液体涂层剂(liquid coating agent)以及在低于 600°C 的温度下将该涂层进行退火。该温度的限制是由于，在高于 500－600°C 的温度下激光型处理导致的损耗的改善就会彻底消失。该专利说明激光处理的效果不仅为了降低损耗，还为了改善磁致伸缩；但是在这一方面，没有给出所得到的结果的可信服的实证；实事上，表 1 表明与磁致伸缩有关的测量是在 17kg 的力学载荷下以尺寸变化的形式给出，该表是唯一给出了磁致伸缩评估的表。因此，在这点上，必须指出，众所周知的是，力学牵引改善了磁致伸缩。并且，从报道的数据中，可以注意到当考虑到磁致伸缩时，根据该发明的结果低于仅施加最终的绝缘涂层而不用激光处理的结果。因此，激光处理的仅有的优点是为了改善总铁损的值。

欧洲专利申请 No.8385 和 No.100638 以及英国专利申请都说明了电工钢条带的激光处理方法，其中，通过选择一些方法参数，选择了单位辐射能的正确值，以用于整个激光化方法。根据上述标明的文件，磁芯损失的改善可以同时得到，而磁导率保持不变，并且甚至更低。没有关于其它最终特性的变化的报导，例如磁致伸缩。

在 1994 年 8 月 24 号提出申请的第 611829 号欧洲专利，涉及为了获得具有在形状和声发射性能得到改善的产品（变压器的磁芯），对电工晶粒取向钢片表面进行的电子束处理。该专利包含：用沿连续或者不连续曲折路径输送到钢片上的电子束对具有最终绝缘涂层的钢片进行辐射，以使电子束径迹对应于曲折路径的顶峰(apexe)。并且，在这种方法中，由于涉及磁致伸缩(激励功率及噪声)的值可以与未处理的条带相比，所获得的改善仅与损耗有关，并且它们仅对于电子束的线型辐射处理的条带才是较好的。另一涉及电子束使用的缺点包含：必须在高真空下进

行操作，这在连续处理车间里是很难获得的昂贵条件。最后，必须注意的是，在该文件中，最好的结果是当通过电子束处理条带的处理温度在600－800℃之间时获得的，从所周知，在这样的温度下由处理引起的微应力而获得的益处就丧失了。因此可以推论出，在该文件中所获得的改善基本上是由于最终绝缘涂层的张力效果引起的，由于通过电子束刻于玻璃膜上的槽，该效果较好与钢片有关。

目前技术说明了对晶粒取向硅钢片进行的激光或电子束辐射处理是如何在损耗的普通特性方面导致有效的提高，如果考虑磁致伸缩及噪声，结果至少可以与那些通过没有表面辐射的普通处理方法获得的结果相比。并且，必须考虑到激光或者电子束车间具有非常高的资金及运行成本，因此，它们不能仅与损耗的提高有关就被证明是正确的。

因此，本发明的领域是为了获得对磁学晶粒取向钢片的激光处理，该处理可以绝对提高在800A/m(从现在为B800)的情况下测得的铁损、磁致伸缩以及磁感应的值。

本发明的另一领域是为了实施激光处理，而不破坏钢片绝缘涂层。

本发明的又一领域是为了避免在激光处理后钢片的最终绝缘涂层所带来的额外成本，这至今是必须的。

发明内容

本发明涉及用连续发射激光，例如波长为10.46μm的CO_2激光，对经过二次再结晶终退火且具有绝缘涂层的晶粒取向硅钢片进行处理的方法，该CO_2激光沿一般垂直于条带的方向在运动中连续扫描条带(strip)。该方法特征在于，将一些以前选用的参数（即单位辐射能、停留时间及钢片上激光束的两个连续条带之间的距离）同时并且连续各个调整到0.1-25mJ/mm^2、1×10^{-6}s－1×10^{-2}s和2－12mm之间的范围内，以优化改善在磁感应及铁损中选出的条带磁学特性中的至少一个，而不损害玻璃膜绝缘涂层，该磁学特性是在激光束处理前和处理后连续测量的。

在此情况中，停留时间是对由激光束辐射条带的特定表面而言，停留时间为条带速度、激光束扫描速度以及激光的截面尺寸的函数。

单位辐射能优选在 2－8mJ/mm^{2}之间，并且更优选在 3－5 mJ/mm^{2}之间。对于停留时间，必须优选在 1×10^{-5}s－1×10^{-3} 之间，并且特别优选在 1－8×10^{-2}s 之间。

根据晶粒的平均尺寸，两连续线之间的距离必须优选保持在 3.5－8mm 之间；在我们的实验中，当两连续线的间距值低于在条带的轧制方向测得的平均晶粒尺寸的 10－20%时，就可有非常好的结果。

另一个非常重要的因素是激光束在条带表面上的扫描速度，它取决于其它的参数，例如钢片沿线方向的平移速度(translation speed)以及划线之间的距离；因此，在不同的车间该参数可以有不同的值，仍然可使所得的磁学特性保持为适宜的值；在实验室里进行的实验中，扫描速度在 800－10000m/min 之间可以获得优异的结果;在所使用的工业车间里，所用值一般在 1500－6000m/min 之间。

激光束截面尺寸，或者说点的长度，在 1－60mm 之间，优选在 5－50 之间，一般值在 7－40 之间，停留时间取决于该点的长度。

由于激光束的扫描运动由多边镜的旋转产生，方法参数也取决于多边镜的旋转速度，该多边镜将光束送至抛物柱面镜，光束从该抛物柱面镜最终被输送到条带；因此，根据发明，该旋转速度在 100－10000 转/分之间，优选在 600－6000 转/分之间。

为了使损耗或者磁致伸缩的改善最优化，可以调整方法参数，也可以在磁导率的值上有小的改善。

由于没有测量磁致伸缩的标准方法，本文中的相关测量根据 G. Ban 和 F. Janosi 的论文“对 3.2% SiFe G.O.电工钢的直流和交流磁致伸缩行为进行研究的测量系统和评估方法”中所述的方法进行的，该论文发表于软磁材料会议，SMM'12 会议论文集，磁与磁性材料杂志(Journal of Magn. And Magn.Mat.)，第 160 卷，（1996），167－170。

具体实施方式

现在参照下面的实施例对本发明进行详述，所述并非是对本发明主题的限制例子。

例 1

用众所周知的方法，炼出普通用于制造具有高磁性的含有 3.2 wt% Si 的钢，并制成厚度为 0.27mm 的钢片，用传统上由 MgO 构成的退火隔离物进行涂敷，并在箱式炉里进行退火。

在所需的终处理之后，得到了具有如下磁学特性的产品：

P(1.5T) (W/kg)	P(1.7T) (W/kg)	B_{800} (mT)	$\lambda_{(p-p)}$(1.7T)	$\lambda_{(p-p)}$(1.9T)
0.71	0.94	1925	$2.73\ 10^{-7}$	$8.48\ 10^{-7}$

在如下所示的条件下用激光束对覆盖有玻璃膜和绝缘涂层的条带（一个是为传统处理，另三个用于根据本发明的处理）进行辐射：

表 1

激光处理方法	单位辐射能 (mJ/mm^2)	功率 (W)	线的间距 (mm)	扫描速度 (m/分钟)	停留时间 ($s\ 10^{-4}$)
传统方法	5.80	1800	5.0	4000	3.30
新方法	A 2.49	600	4.8	3012	4.38
	B 3.32	600	4.8	3012	4.38
	C 4.15	600	4.8	3012	4.38
	D 30	600	4.8	3012	4.38
	E 0.1	600	4.8	3012	4.38
	F 35	600	4.8	3012	4.38

因此，在所得到的材料上，已测出如下的磁学特性：与辐射区域相关的锈敏感性（以每径迹米（trace meter）中的氧化厘米（Oxidized cm）表示）、在钢片上激光束径迹（以可见长度和径迹长度之间的比率表示）和磁致伸缩$\lambda_{(p-p)}$(条带长度的最大变化)。所测值如表 2 所示。

表 2

	传统方法	新方法					
		A	B	C	D	E	F
△P(1.5T)%	11.19	5.8	10.5	11.3	10.6	0.8	11.2
△P(1.7T)%	12.74	7.4	10.1	10.8	10.9	0.7	12.7
△B_{800} mT	-7	7	2	0	-3	-1	-7
$\lambda_{(p-p)}(1.7T)10^{-7}$	4.38	4.09	2.02	2.32	5.15	4.65	4.39
$\lambda_{(p-p)}(1.9T)10^{-7}$	8.58	5.15	5.76	7.37	10.6	4.80	8.59
NaCl 中的腐蚀 1%	100	8	0	0	60	0	100
痕迹的可见度%	1	0	0	0.5	0.75	0	1

例 2

又通过改变停留时间对条带进行处理。与实验相关的数据在表 3 中给出。

很清楚，最终产品的磁性质量对停留时间有强烈依赖作用，特别是所考虑的所有磁学特性仅在某些情况下才会有所改善。

对于条带 G 和 H，即使停留时间包含在固定值内，在特定的车间内，也不可能用最佳方法调整诸如条带和激光束的扫描速度的其它参数。

对于条带 I 和 J，即使得到的径迹可见性和腐蚀性为零，但可以注意到与损耗有关的小的并且也消极的影响、与磁导率有关的消极影响和过高的磁致伸缩值。

表 3

	样品					
	G	H	I	J	K	L
停留时间(s)	4.04×10^{-5}	9.71×10^{-5}	5.93×10^{-4}	1.02×10^{-3}	2.74×10^{-3}	3.56×10^{-3}
△P%(1.5T)	9.7	7.0	5.1	5.1	0.5	1.3
△P%(1.7T)	12.3	11.2	7.9	7.9	0.9	-0.1
$\triangle B_{800}$	10.4	5.6	2.6	2.6	-3.4	-9.4
$\lambda_{(p-p)}$(1.7T)	2.8	2.0	2.7	2.7	7.1	9.0
$\lambda_{(p-p)}$(1.9T)	8.6	6.6	7.8	7.8	11.4	16.6
痕迹的可见度%	1	0	0	0	0	0
NaCl 中的腐蚀 1%	100	20	0	0	0	0

例 3

通过改变条带之间的距离对如 I 处理的条带进行进一步的操作。在条带中，沿轧制方向的晶粒的平均尺寸为 8.53mm，变率为 30%。所得到的结果如表 4 所示。在这种情况下也能注意到，在整个检测范围内都可获得满意的值，该范围在为操作参数选定的范围内（除了磁致伸缩最小的样品 P 和 Q），并且在线的间距在 7－8mm 之间时可以获得最适宜的值，也就是说低于晶粒平均尺寸 8－18%。

表 4

	样品							
	M	N	O	P	Q	R	S	T
线的间距 (mm)	4	5	6	7	8	9	11	13
△P(1.5T)%	12.6	12.8	11.9	13.0	16.4	13.2	9.3	11.1
△P(1.7T)%	13.5	11.4	11.8	14.5	14.1	12.0	8.9	10.0
$\triangle B_{800}$	3.2	3.7	4.8	8.1	9.4	3.1	5.0	5.3
$\lambda_{(p-p)}(1.7T)\ 10^{-7}$	8.6	7.0	5.0	3.2	2.2	11.0	10.0	9.0
$\lambda_{(p-p)}(1.9T)\ 10^{-7}$	13.3	12.0	9.2	5.4	4.8	14.0	14.1	13.2
痕迹的可见度%	0	0	0	0	0	0	0	0
NaCl 中的腐蚀 1%	0	0	0	0	0	0	0	0

例 4

根据本发明，在激光处理前或者处理后对钢条带 O 进行磁致伸缩测量，该条带具有 0.8－1.9T 的极化场。所得的数据如表 5 所示。

表 5

	激光处理前	激光处理后
极化强度，T	磁致伸缩(p-p)10^{-7}	
0.80	1.7	1.4
1.00	2.3	1.9
1.20	3.5	2.3
1.30	4.2	2.2
1.40	4.6	2.6
1.50	5.2	3.0
1.60	6.0	3.0
1.65	6.5	3.1
1.70	7.0	3.2
1.75	7.6	3.6
1.80	7.9	4.1
1.85	8.2	5.0
1.90	11.6	8.4
1.95	12.3	10.4