

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C22C 38/06

C21D 8/12



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00109074.7

[43] 授权公告日 2003 年 3 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 1102670C

[22] 申请日 2000.6.5 [21] 申请号 00109074.7

[30] 优先权

[32] 1999. 6. 16 [33] JP [31] 169759/1999

[71] 专利权人 住友金属工业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 田中一郎 屋铺裕义 前田光代

中山大成 本庄法之 三田伸介

[56] 参考文献

JP8 - 49044A 1996.02.20

审查员 王怀东

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 汪惠民

权利要求书 2 页 说明书 13 页

[54] 发明名称 无方向性电磁钢片及其制造方法

[57] 摘要

一种无方向性电磁钢片，具有含有 C: 0.01% 以下，Si: 2.5% 以下，Mn: 2% 以下，Al: 1 - 5%，并且 $Si + Al + 0.5 \times Mn$ 满足 2.5 - 5% 的化学组成，并且钢片厚度为 0.1 - 0.4mm，平均晶粒粒径为 50 - 180 μm ，维氏硬度为 130 - 210。该钢片在加工电机用铁心时的冲压性及自动铆接性等加工性优越，同时由于铁心损耗低，磁通量密度高，作为电机的铁心使用时的电机效率高。因此，特别适于作变换器控制的电机铁心用的材料。

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

- 5 1. 一种无方向性电磁钢板，其厚度为 0.1—0.4mm，并且具有下述化学组成和特性：
- 化学组成：按质量%，
- C：0.01%以下，
- Si：2.5%以下，
- 10 Mn：2%以下，
- Al：1-5%，
- Si+Al+0.5×Mn：2.5—5%，
- Sb：0.3%以下，Sn：0.3%以下，B：0.01%以下，
- 其余：Fe 及杂质；
- 15 特性：平均晶粒粒径：50—180 μ m，
- 维氏硬度：130—210。
2. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，厚度为 0.2—0.4mm，Mn 含量为 1%以下。
3. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，Al 含量为 1.5—5%。
- 20 4. 根据权利要求 2 所述的无方向性电磁钢板，Al 含量为 1.5—5%。
5. 根据权利要求 1—4 项中任何一项所述的无方向性电磁钢板，Al 与 Si 的含量比 Al / Si 为 0.7—1.4。
6. 根据权利要求 1—4 项中任何一项所述的无方向性电磁钢板，Al 与 Si 的含量比 Al / Si 为 0.8—1.3。
- 25 7. 根据权利要求 1—4 项中任何一项所述的无方向性电磁钢板，表面光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 0.5 μ m 以下。
8. 一种权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板的制造方法，包括下述工序：
- (1) 准备按权利要求 1 所述化学组成的板坯；
- 30 (2) 将板坯加热到 1300 $^{\circ}$ C 以下后进行热轧；

(3) 通过热轧后的冷轧轧制到 0.1—0.4mm 厚度;

(4) 在 700—1150℃ 的温度进行退火加工。

9. 根据权利要求 8 所述的制造方法, 板坯的 Al 与 Si 的含量比 Al / Si 为 0.7—1.4。

5 10. 根据权利要求 8 所述的制造方法, 使用表面光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 1.5 μ m 以下的轧辊进行冷轧。

11. 根据权利要求 9 所述的制造方法, 使用表面光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 1.5 μ m 以下的轧辊进行冷轧。

12. 根据权利要求 8—11 项中任何一项所述的制造方法, 在冷轧前、
10 或者在冷轧前多次冷轧之间在 600—1000℃ 进行退火。

13. 一种由无方向性电磁钢板所构成的电机用铁心, 其钢板的厚度为 0.1—0.4mm、平均晶粒粒径为 50—180 μ m、维氏硬度为 130—210, 并具有下述化学组成: 按质量%,

C: 0.01% 以下,

15 Si: 2.5% 以下,

Mn: 2% 以下,

Al: 1-5%,

Si+Al+0.5×Mn: 2.5—5%,

Sb: 0.3% 以下, Sn: 0.3% 以下, B: 0.01% 以下,

20 其余: Fe 及杂质;

14. 根据权利要求 13 所述的电机用铁心, 钢板的厚度为 0.2—0.4mm, Mn 含量为 1% 以下。

15. 根据权利要求 13 或 14 所述的电机用铁心, 钢板的 Al 与 Si 的含量比 Al / Si 为 0.7—1.4。

25 16. 根据权利要求 13 或 14 所述的电机用铁心, 钢板的 Al 与 Si 的含量比 Al / Si 为 0.8—1.3。

17. 根据权利要求 13—16 所述的电机用铁心, 钢板的光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 0.5 μ m 以下。

无方向性电磁钢板及其制造方法

5

技术领域

本发明涉及一种用于电动机的转子及定子的电磁钢板、其制造方法及铁心。特别是涉及一种在铁心加工时的冲压性及铆接性优越并且磁性能也优越的电磁钢板及其制造方法。由本发明的电磁钢板所制造的铁心
10 作为铁心的磁性能极其良好。因此，本发明的电磁钢板作为压缩机用电机、电气汽车用电机等的变换器控制的铁心材料是特别适合的。

背景技术

年近来，从保护地球环境出发，强烈要求削减对能源的消耗量。因此，涉及电气机械，改善电机的电力消耗量就成为重要的课题。特别是
15 对使用量大并且连续运转的大量冰箱或空调用电机，尤其需要提高其电机效率。

另外，作为解决地球环境问题的一种办法，人们正考虑能代替汽车的汽油发动机的动力。特别是，正在进行的电机及电机和汽油发动机共用的动力或者电机和柴油发动机共用的动力的开发，使用这些电气汽车
20 或混合汽车受到人们关注。为了提高这些能量效率必须提高电机效率。

为了提高电机效率，在电冰箱或空调等所用的压缩机用电机的控制是以频率连续控制转数的变换器控制为主。另外，即使对于汽车的动力用电机，由于需要与汽车的行驶速度一致并在低转数和高转数之间任意控制电机的转数，因此仍然主要也采用变换器的控制方式。

通常，这些电机的铁心使用片厚 0.20—0.65mm、Si 含量为 2% 以下、Si 和 Al 含量合计为 2.5—4.5% 的无方向性电磁钢板。但是，这些电磁钢板在成型铁心时的冲压加工性及层叠加工冲压后的钢板的自动铆接性等性能还不充分。因此，作为上述用途中所要求的电机，还不能说得到充分的性能并且也存在得不到所要求的电机的性能的问题。

30 例如，为在将电磁钢板形成铁心的形状进行连续的冲压加工中使用

模具。其模具容易磨损，而当模具一磨损，在冲压后的片的端面上就产生“毛刺”。随着模具的不断磨损，当产生超过 $50\mu\text{m}$ 的大毛刺时，在层叠冲压片加工铁心时，铁心的厚度不容易准确。并且在层叠的钢板间产生导通，容易增大涡流损失。因此，需要使毛刺尽可能的小，但这样

5 必须能控制模具的磨损。

模具的磨损将影响钢板的特性。当冲压加工以往的含 Si 多硬度高的钢板时，由于模具容易磨损，增加更换模具的频率。其结果，由于中止冲压作业并使更换模具的次数变多，因此降低铁心的生产效率，同时也增加了为再使用模具的模具研磨费用。

10 在其后的自动铆接工序中层叠冲压了的钢板，同时用在冲压时于钢板上所形成的凹凸部进行固接。在电磁钢板的材质、表面性能状态或片厚受到影响，并使所层叠和固接的铁心的铆接强度及铆接后的占空系数在铆接性方面变坏时，不能得到效率优越的电机。

15 在特开平 8—49044 号公报及特开平 10—25554 号公报中公开了一种电气汽车的电机用、变换器控制压缩机电机用的无方向性电磁钢板，并得到优越的电机效率,但是,还不能说得到充分的在冲压加工性和铆接性等加工方面的性能，同时，对于电机效率还有进一步使其提高的余地。

发明内容

20 本发明的目的是提供一种无方向性电磁钢板、其制造方法以及铁心，这种电磁钢板作为电机的铁心用材料在形成铁心时的冲压性及铆接性优越并且作为铁心使用时的磁性能优越。

本发明的无方向性电磁钢板，其厚度为 $0.1-0.4\text{mm}$ ，具有下述化学组成和特性。

25 化学组成：按质量%，

C: 0.01%以下，

Si: 2.5%以下，

Mn: 2%以下，

Si+Al+0.5×Mn: 2.5—5%，

30 Sb: 0.3%以下，Sn: 0.3%以下，B: 0.01%以下，

其余：Fe 及杂质；

特性：平均晶粒粒径：50—180 μm ，

维氏硬度：130—20。

当钢板的厚度为 0.2—0.4mm，Mn 含量为 1% 以下时磁特性更加提高。另外，在这些钢板中 Al 含量为 1.5—5% 是理想的。并且 Al 与 Si 的含量比 Al / Si 为 0.7—1.4 是理想的，而最好为大于 0.8 小于 1.3。

在钢板的表面光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 0.5 μm 以下时，铁心的占空系数变高，因此在用于电机时能得到较优越的电机效率。

本发明的无方向性电磁钢板可由下述工序制造。

- 10 (1) 准备上述化学组成的板坯；
- (2) 将板坯加热到 1300 $^{\circ}\text{C}$ 以下的温度后进行热轧；
- (3) 通过热轧后的冷轧轧制成 0.1—0.4mm；
- (4) 在 700—1150 $^{\circ}\text{C}$ 的温度进行退火加工。

在制造表面光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 0.5 μm 以下的钢板时，可以用表面光洁度按算术平均光洁度 Ra 为 1.5 μm 以下的轧辊进行冷轧。另外，在冷轧前、或者冷轧前及多次冷轧之间也可在 600—1000 $^{\circ}\text{C}$ 进行退火。

通过冲压加工本发明的无方向性电磁钢板并层叠和铆接加工冲压片，可得到本发明的电机用铁心。用这种铁心的电机，由于铁心在磁通量密度、铁心损耗等的磁特性优越，电机特性好。因此，是极其适用于压缩机电机、电气汽车用电机等变换器控制的电机。

另外，在本发明中所谓铆接加工是指使分别在冲压片上所形成的凹凸部的凹部与另一片的凸部重合和层叠，通过从上下面挤压层叠体，使凸部和凹部机械地啮合并使片之间固接的加工。

25 为了提高变换器所控制的压缩机或电气汽车用电机的效率，作为钢板的磁特性要求在很宽的频率区域铁心损耗低并且磁通量密度高。而且钢板必须满足作为铁心所使用时的材料强度。另外也要求在铁心加工时的冲压性及自动铆接性等的加工性能优越。

30 本发明的电磁钢板，其片厚度为 0.1—0.4mm，作为电磁钢板 Si 含量低到 2.5% 以下，而 Al 含量高为 1—5%。另外， $\text{Si} + \text{Al} + 0.5\text{Mn}$ [(1)

式] 限制在 2.5—5%的范围。并且, 钢板的硬度按维氏硬度 Hv 低到 130—210, 平均晶粒粒径限制在 50—180 μm 。

限制 Si 含量是为抑制钢板的硬度上升, 并确保冲压性。由 Si 含量降低的铁心损耗的恶化可以通过提高 Al 含量的同时选择上述 (1) 式的其适当范围加以补充。本发明的电磁钢板完全满足这些条件, 因此完全满足本发明所需的磁特性及加工性。

下面, 对于本发明的电磁钢板、其制造方法以及将本发明的电磁钢板为材料的电机用铁心进行具体的说明。另外, 下述说明的化学成分含量的%表示为质量的%。

10 钢板的化学组成:

C: 钢板中的 C 提高铁心损耗, 因此 C 含量低的好。特别是, 当 C 含量超过 0.01%时, 由于铁中的固熔碳作为碳化物析出, 因此作为铁心所使用时产生铁心损耗的恶化。因此, C 含量为 0.01%以下, 而最好为 0.005%以下。

15 Si: Si 提高钢板的电阻并且降低涡流损耗, 因此有减少铁心损耗的作用。另一方面, 由于 Si 显著地提高钢板的硬度, 使冲压性降低。在本发明, 为了确保冲压性, Si 含量为 2.5%以下, 由于即使 Si 含量过低冲压性也不降低, 因此也可不添加 Si。但是, 从确保材料强度出发 Si 含量为 0.1%以上的是理想的, 而最好为 0.5 以上。

20 另外, 考虑对钢板所要求的铁心损耗等的磁特性, 也可以是选择含量。

Mn: 由于 Mn 对钢板的磁特性的影响比较小, 因此不添加也可以。但是, 由于 Mn 提高钢板的电阻, 具有减少铁心损耗的作用。为了得到其效果也可以含有 Mn。另外, Mn 也有提高热加工性的作用。但是, 25 当 Mn 含量超过 2%时, 钢板的饱和磁通量密度变低。并且添加 Mn 费用变高, 提高制造成本。因此, Mn 含量在 2%以下。理想的为 1%以下。为了得到降低、铁心损耗、提高热加工性的效果, Mn 含量为 0.05%以上是理想的。

Al: Al 与 Si 同样具有提高钢板的电阻的作用, 因此具有降低涡流损耗并降低铁心损耗的作用。并且, 与 Si 相比, 在同样含量下提高钢

板的硬度的效果小。因此，对提高冲压性和磁特性方面都是极其重要的。为了确保材料冲压性和磁特性两者，需要 Al 含量为 1% 以上。但是，当 Al 含量超过 5%，与 Si 或 Mn 同样，钢板的饱和磁通量密度降低。因此，Al 含量为 1—5%。理想的范围为 1.5—5%。

5 Si + Al + 0.5 × Mn:

Si、Al 及 Mn 任何一种都具有提高钢板的电阻并减少铁心损耗作用。另一方面，任何一种元素在含量过剩时，降低钢板的磁通量密度。在相同含量中这些元素对磁特性的影响 Si 与 Al 的效果相同，Mn 约为其 1 / 2。因此，综合考虑这三种元素，需要选择适当的含量。

10 在本发明中，下述 (1) 式选择满足 2.5—5% 的条件。在 (1) 式的值不到 2.5% 时，降低钢板的铁心损耗的效果不充分，而当超过 5%，钢板的饱和磁通量密度变得过低。

$$\text{Si} (\%) + \text{Al} (\%) + 0.5 \times \text{Mn} (\%) \quad (1)$$

Al / Si:

15 为了进一步提高磁特性，可使 Al 与 Si 几乎等含量。这也是考虑到引起磁结构的变化。为了得到这种效果，使 Al / Si 为 0.7—1.4 好。而 Al / Si 更理想的范围为 0.8—1.3。

P、S、N:

20 P、S 及 N 的含量低好。从钢板的硬度考虑 P 为 0.03% 以下，从铁心损耗考虑 S 和 N 分别为 0.01% 以下，而最好为 0.006% 以下。

Sb、Sn、B:

这些元素具有提高磁特性的作用，根据需要可以添加。添加时的含量 Sb、Sn、B 分别为 0.3% 以下、0.3% 以下、0.01% 以下。而最好添加时的这些元素的下限为 0.005%、0.005%、0.0002%。

25 另外，除这些元素以外所含的杂质，若为用通常的炼油法在所制造的钢中所含的量，则没有特别的妨碍。

钢板的厚度:

30 钢板的厚度 (片厚) 对铁心损耗影响大。片厚减薄对降低在高频区域的涡流损耗是极其有效果的。但是，随着片厚变薄，为了得到目的厚度的铁心，增加钢板的层叠片数，因此使生产效率降低。另外，在片厚

过薄时，在用层叠并自动铆接装置固接冲压片成铁心时，得不到充分的固接力。占空系数（为在铁心所层叠时的冲压片的填充比例，以%表示对假定无空隙叠合时的铁心的计算量的实际重量）具有下降的倾向。这些特性在片厚为0.1mm以下的情况，受到特别大的影响。片厚为0.1mm
5 以下，即使材料的钢板的磁特性良好，由于不能充分地发挥性能，不能得到目的电机效率。因此，片厚的较理想的下限为0.2mm。

另一方面，当片厚一超过0.4mm，由于涡流损耗增大，所以铁心损耗的增加显著。特别是在200—10,000Hz的高频区域使用的情况下，铁心损耗更低是理想的，因此，在这种用途中片厚为0.35mm以下好。

10 因此，片厚为0.1—0.4mm，理想的为0.2—0.4mm，而最好为0.2—0.35mm。

钢板的硬度：

在本发明的钢板中，硬度具有重要的意义。当钢板的硬度按维氏硬度Hv超过210时，则在冲压加工中所用的模具的磨损显著，所以如前
15 所述，使冲压加的生产效率大幅度下降。另一方面，在硬度Hv不到130时，将钢板加工成铁心，并作为电机的转子所使用时，不能确保能耐受转子高速旋转的强度。

因此，硬度按Hv为130—210。理想的为140—200。

另外，维氏硬度的测定按JIS Z 2244标准，试验负载为9.8—49N
20 中任何负载，在钢板的表面测定即可。

钢板的平均晶粒粒径：

钢板的平均晶粒粒径为50—180 μm 。在平均粒径不到50 μm 的细晶粒时，铁心损耗大，因此，在用于电机时得不到良好的电机效率。理想的平均晶粒粒径的下限为60 μm 。另一方面，在平均晶粒粒径超过180 μm
25 的粗晶粒时，由于涡流损失增加，所以在高频区域的铁心损耗变大。

因此，钢板的平均晶粒粒径为50—180 μm ，理想的为60—180 μm 。

另外，所谓平均晶粒粒径为在钢板的轧制方向并且在包括片厚方向的截面（在轧制方向平行的纵截面）的晶粒粒径的平均值。该平均晶粒粒径以所述纵截面的100倍的显微镜照片为基础，对片厚方向和轧制方向，
30 分别用切截法，反复2、3次测定晶粒粒径，通过计算其平均值的

方法可以求得。这里，所谓切截法是指画出横截晶粒的线，用以横截线的晶粒的数除线的长度，求平均晶粒粒径的方法。

钢板的表面光洁度：

钢板的表面光洁度对铁心的占空系数有影响。当表面法光洁度按算术平均光洁度 R_a 超过 $0.5\mu\text{m}$ 时，由于容易降低占空系数，所以为 $0.5\mu\text{m}$ 以下是理想的。算术平均光洁度 R_a 的下限越低越好。但是，在通常工业规模的生产中所得的算术平均光洁度 R_a 的下限为 $0.1\mu\text{m}$ 。

钢板的制造方法：

本发明的无方向性电磁钢板，用通常采用的制造设备用通常的工艺能够制造。

首先，准备具有上述化学组成的板坯。板坯可为在连续铸中所制造的扁平形的钢板用板坯，也可用分块法将用造块法所制造的钢锭轧制成扁平形。

在热轧前加热板坯。这时的加热温度在 1300°C 以下是理想的。当加热温度超过 1300°C 时，则降低磁特性。另一方面，当加热温度过低时，由于在热加工时在板坯上容易发生裂纹，所以加热温度的下限为 1100°C 是理想的。因此，理想的加热温度为 $1100-1300^\circ\text{C}$ ，而最好为 $1100-1250^\circ\text{C}$ 。用热轧，可轧制到 $1.5-2.5\text{mm}$ 的厚度。

在热轧后，冷轧前，为了更提高磁特性也可进行热轧板的退火。热轧板退火的温度过低则无效果，而当过高时则晶粒变粗大化，由于有在冷轧时钢板破裂的情况，因此，退火温度为 $600-1000^\circ\text{C}$ 的范围好。

在冷轧工序前，可以进行为除去在钢板表面生成的氧化物层的酸洗处理。

冷轧可进行一次也可反复进行多次。在反复进行冷轧时，在冷轧与冷轧之间进行中间退火。通过冷轧可轧制到 $0.1-0.4\text{mm}$ 中的任何一种厚度。在冷轧间的中间退火温度为 $600-1000^\circ\text{C}$ 是理想的。

在按算术平均光洁度 R_a 将钢板的光洁度为 $0.5\mu\text{m}$ 以下时，可将冷轧时的最后过程的轧辊的表面光洁度为 $1.5\mu\text{m}$ 以下。所谓最后过程的轧辊是指在逆动式轧机中的工作轧辊、在连续式轧机中的最后架的工作轧辊。

冷轧后的退火加工可在 700—1150℃ 的温度范围内进行。在不到 700℃，由于不能充分地再结晶，得到不磁特性良好的钢板，并且有钢板的硬度变过高的倾向。另一方面，当超过 1150℃，则容易引起晶粒的粗大化，并且容易降低在铁心加工时的冲压性。

- 5 硬度以及平均晶粒粒径通过退火加工的退火温度、退火时间可以调整。能予先求出退火温度、退火时间与硬度、平均晶粒粒径的关系并且选择最适当的条件的方法是实用的。

退火后，根据需要在钢板的表面也可涂覆厚 0.1—0.8μm 的树脂膜。树脂膜使加工铁心时的钢板冲压性提高并且有提高铁心的层叠片间的电气绝缘性的作用。树脂膜可以只是有机树脂，也可用有机树脂和无机材

10 料的混合物。

作为树脂，甲基丙烯酸甲酯树脂、苯乙烯树脂、聚醋酸乙烯树脂等是合适的。作为无机材料可用铬酸镁、铬酸铝等。

铁心的制造方法

- 15 以本发明的钢板为材料的铁心的制造可按通常工业上所采用的制造方法。具体地说，首先，以一定的形状连续地冲压钢板。在冲压时，为了层叠后固接冲压片，形成凹凸部。然后，层叠规定的片数，并且由铆接加工成层叠体。在铆接加工时，使在冲压工序中分别在冲压片上所形成的凹凸部机械地相互对接合并固接，能得到层叠体，即铁心。

- 20 在表 1 中示出供作试验的厚度 227mm、宽 1000mm 的板坯的化学组成。

具体实施方式

实施例 1

- 25 通过连续冲压试验考察钢板的冲压性。对于在表 1 所示的化学组成满足本发明规定的钢 C、F 以及 J 的板坯，加热到表 2 所示的板坯加热温度进行热轧，通过在表 2 表示的热轧板退火温度及退火加工温度进行处理，准备硬度不同的供试材料。供试材料的片厚、硬度也都列于表 2。

- 30 冲压试验条件，板坯尺寸：长和宽为 17mm，以冲模（材质：SKD 11），行程次数：350 次 / 分，间隙：5%。另外，在冲压时使用冲压油。冲压性用冲压材料的毛刺的高达到 50μm 的冲压次数进行评价。

表 2 示出试验结果。

即使是化学组成在本发明所规定的范围内的钢，在退火加工温度过低并且硬度超过本发明规定的上限时（试验序号 4.7），冲模的寿命也短。即，在试验 4 及 7 的情况中，冲压后的坯料的毛刺达到 $50\mu\text{m}$ 前的冲压次数与满足在本发明所规定的条件的其他试验序号的情况相比少 20% 以上为 30 万次以下。

实施例 2

将表 1 所示的化学组成的板坯加热到 1250°C 以后，经热轧成 2.2mm 。然后，酸洗后，在氢气气氛中 820°C 下进行 10 小时由装箱退火的热轧片退火。其后，由一次冷轧轧制成 $0.15-0.5\text{mm}$ 。在冷轧时所用的最后通过轧辊的光洁度按算术平均光洁度 R_a 为 $0.8\mu\text{m}$ 。然后，在 $900-1150^\circ\text{C}$ 进行 30 秒种加热的退火加工处理。经这种退火制造成硬度、平均晶粒粒径不同的供试材料。在退火加工温度中无特别说明时其温度为 $1050-1150^\circ\text{C}$ 。退火加工后，在钢板的表面形成无机质的铬酸镁中分散了树脂粒的厚度为 $0.4\mu\text{m}$ 的表膜。

对所得到的钢板，考察钢板材料特性及磁特性。

钢板的硬度以 JIS Z 2244 为标准，通过测定在钢板表面维氏硬度（负载 9.8N ）的方法求出。另外，如前所述，对于在钢板的轧制方向的厚度方向的截面，由光学显微镜以 100 倍的放大倍数所摄的缩微照片为基础，由切载法测定 2 次并由平均测定值的方法进行测定。

磁特性通过按 JIS C 2550 标准的铁心损耗试验试验片（ $280\text{mm}\times 30\text{mm}$ ）， $W_{15/50}$ 、 $W_{15/400}$ （对在频率 $50\text{Hz}-400\text{Hz}$ ，相当磁通量密度 1.5T 的试料 1kg 的铁心损耗）以及 B_{50} （磁化力 5000A/m 的磁通量密度）进行考察。

另外，试作用变换器控制所驱动的 4 极永磁铁埋入式同步电机，也进行评价电机效率。使变换器频率在 $30-300\text{Hz}$ 范围内变化测定并评价电机效率。这里所谓电机效率是指对于输入电功率的输出功率的比，并用峰值效率（在 $30-300\text{Hz}$ 的频率范围最高效率）比较电机效率。另外，在电机中所用的铁心，在铁心加工后， 720°C 进行 2 小时的变形矫正退火。

铆接性用自动铆接模具，制作外径 45mm 、内径 33mm 的环形铁心

(4点铆接),通过拉伸试验测定其结束力,求得每1点的铆接强度。

表3表示其试验结果。

试验序号1、11、20的供试材料(钢记号分别为A、1、P)的Si含量超过在本发明所规定的范围的上限,因此硬度过高。其中,试验序
5 号20由于 $Si+Al+0.5Mn$ 偏离本发明的规定范围的上限,因此,磁通量密度也低。

试验序号14的化学组成满足在本发明所规定的条件,但由于钢板的硬度为125过低,因此达不到电机铁心所要求的强度。

试验序号21由于片厚超过了在本发明所规定范围的上限,因此铁
10 心损耗变差。并且由于算术平均光洁度 Ra 为 $0.85\mu m$ 过大,所以占空系数也小,并且电机效率也低。

为验序号8的平均晶粒粒径小,偏离在本发明的所规定的范围的下限,因此铁心损耗大,并且电机效率也低。

试验序号19由于 $Si+Al+0.5Mn$ 偏离在本发明所规定的范围的下
15 限,因此铁心损耗差。另外,由于钢板的硬度过低,所以达不到电机铁心所需求的强度。

对于其他试验序号,由于任何一种都满足在本发明所规定的条件,因此,任何一种磁特性都优越,并都兼具有适当的硬度。因此,电机效率也良好。特别是,在 Al/Si 的范围为理想的范围条件的情况下(2—
20 4、9、10、15—18、23—25),磁特性、电机效率也良好。

另外,对于试验序号17及18用所述的方法所求的每1点的铆接强度的结果,分别为33MPa、42MPa、自动铆接性也良好。

本发明的无方向性电磁钢板对于化学组成、片厚、硬度、平均晶粒粒径,可分别选择最适当的条件,因此磁特性优越,同时在电机用等的
25 铁心加工时的冲压性优越。因此,在冲压加工中所用的模具寿命长,并且铁心等的层叠体的形状也好,占空系数也高。另外,由于模具的寿命长,冲压加工容易,因生产效率及作业性也十分好。本发明的无方向性电磁钢板特别适用于冰箱、空调的压缩机或电气汽车用电机等变换器控制的电机的铁心。在适用于上述用途的情况下,具有铁心的生产效率高、
30 在很宽频率区域内铁心损耗低,电机效率高等的优点。

表1

钢	化 学 组 成 (质量%、其余 Fe)											备 注
	C	Si	Mn	Al	P	S	N	Si+Al+0.5Mn	Al/Si			
A	0.003	2.8*	0.20	1.0	0.013	0.005	0.0007	3.9	0.36			
B	0.003	1.9	0.20	1.9	0.013	0.007	0.0008	3.9	1.00			
C	0.002	2.0	0.17	1.8	0.012	0.005	0.0008	3.9	0.90			
D	0.001	1.9	0.22	2.4	0.013	0.005	0.0007	4.4	1.26			
E	0.003	1.8	0.20	2.0	0.013	0.006	0.0007	3.9	1.11			
F	0.003	0.8	0.18	3.0	0.013	0.005	0.0007	3.9	3.75			
G	0.003	0.6	0.23	3.2	0.012	0.005	0.0009	3.9	5.33			
H	0.002	0.1	0.20	3.8	0.013	0.005	0.0007	4.0	38			
I	0.002	3.0*	0.30	0.01*	0.012	0.006	0.0007	3.2	0.003			
J	0.003	0.9	0.19	2.3	0.013	0.006	0.0009	3.3	2.56			
K	0.002	0.5	0.31	2.5	0.013	0.005	0.0008	3.2	5.00			
L	0.003	0.1	0.31	2.9	0.013	0.005	0.0008	3.2	30			
M	0.003	2.2	0.20	1.6	0.013	0.007	0.0008	3.9	0.73			
N	0.003	1.6	0.20	2.2	0.013	0.005	0.0007	3.9	1.38			
O	0.003	0.8	0.20	1.5	0.013	0.007	0.0008	2.4*	1.88			
P	0.003	3.0*	0.20	2.0	0.013	0.005	0.0007	5.1*	0.67			
R	0.001	1.7	2.0	2.0	0.013	0.005	0.0007	4.7	1.18			
S	0.001	1.6	1.2	2.0	0.013	0.005	0.0007	4.2	1.25			
T	0.002	2.0	0.20	1.8	0.012	0.005	0.0008	3.9	0.90	B:0.0003		
U	0.002	2.0	0.20	1.8	0.011	0.005	0.0009	3.9	0.90	Sb:0.008		
V	0.002	2.0	0.20	1.7	0.011	0.006	0.0009	3.8	0.85	Sn:0.008		

注) *表示在本发明所规定的范围以外的条件

表 2

试验序号	钢	板坯加热温度(°C)	热轧板退火温度(°C)	片厚(mm)	退火加工温度硬度(°C)	硬度(Hv1kg)	冲切性(次数)
1	C	1150	820	0.27	1100	192	460000
2	C	1150	820	0.27	1060	196	430000
3	C	1150	820	0.27	980	208	360000
4	C	1150	820	0.27	900	220*	290000
5	F	1120	800	0.27	1080	190	470000
6	F	1120	800	0.27	1000	205	370000
7	F	1120	800	0.27	900	217*	300000
8	F	1100	无退火	0.27	1050	195	430000
9	J	1100	850	0.35	1000	146	690000
10	J	1100	850	0.35	950	143	740000
11	J	1100	850	0.35	900	150	720000
12	J	1100	850	0.35	875	156	680000

*. 表示在本发明所规定的范围以外的条件。

** . 表示直到毛刺高达到 50 μ m 时冲切次数。

表3

试验序号	钢	Si+Al+0.5Mn	Al/Si	片厚 (mm)	硬度 (Hv1kg)	晶粒粒径 (μm)	W15/50 (w/kg)	W15/400 (w/kg)	B50 (T)	电机效率 (%)	表面光洁度 Ra(μm)	占空系数 (%)
1	A*	3.9	0.36	0.27	220*	115	2.15	32.5	1.67	94.7	0.28	98.0
2	B	3.9	1.00		182	116	2.07	32.1	1.68	95.5	0.12	98.5
3	C	3.9	0.90		185	120	2.08	32.1	1.67	95.2	0.27	97.6
4	E	3.9	1.11		182	112	2.08	31.0	1.67	95.1	0.21	98.1
5	F	3.9	3.75		164	114	2.16	32.5	1.67	94.9	0.27	97.7
6	G	3.9	5.33		155	140	2.16	32.6	1.67	94.9	0.27	97.5
7	H	4.0	38		146	116	2.19	32.8	1.66	94.8	0.12	98.6
8	H	4.0	38		150	41*	3.03	43.6	1.67	93.9	0.21	98.2
9	M	3.9	0.73		189	118	2.10	32.2	1.67	95.1	0.27	97.6
10	N	3.9	1.38		174	115	2.10	32.2	1.67	95.1	0.28	98.1
11	I*	3.2	0.003	215*	122	2.38	37.3	1.69	94.4	0.25	98.4	
12	J	3.3	2.56	147	130	2.23	36.0	1.69	94.6	0.10	98.4	
13	K	3.2	5.00	142	121	2.31	36.5	1.69	94.4	0.40	97.9	
14	L	3.2	30	125*	123	2.39	37.7	1.68	94.0	0.30	98.7	
15	R	4.7	1.18	190	109	2.09	34.8	1.67	94.9	0.27	98.6	
16	S	4.2	1.25	178	113	2.11	35.1	1.67	95.1	0.21	98.7	
17	D	4.4	1.26	196	130	2.03	38.0	1.66	94.8	0.28	98.0	
18	E	3.9	1.11	185	110	2.13	40.0	1.68	94.5	0.45	98.0	
19	O*	2.4	1.88	127*	112	2.41	44.0	1.69	93.3	0.35	98.0	
20	P*	5.1	0.67	230*	108	2.11	38.0	1.62	94.1	0.26	98.7	
21	F	3.9	3.75	165	116	2.61	63.5	1.68	93.1	0.85*	88.0	
22	F	3.9	3.75	169	85	1.97	25.8	1.68	94.2	0.10	95.4	
23	T	3.9	0.9	185	108	2.09	38.0	1.67	94.9	0.20	98.1	
24	U	3.9	0.9	182	111	2.08	38.0	1.67	95.1	0.11	98.5	
25	V	3.8	0.85	184	98	2.09	38.0	1.67	95.0	0.15	98.8	

注) *表示在本发明所规定的范围以外的条件