

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03801038.0

[51] Int. Cl.

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/06 (2006.01)

C22C 38/60 (2006.01)

C21D 8/12 (2006.01)

B21B 3/02 (2006.01)

H01F 1/16 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 1277945C

[51] Int. Cl. (续)

H02K 1/02 (2006.01)

[22] 申请日 2003.8.5 [21] 申请号 03801038.0

[30] 优先权

[32] 2002. 8. 6 [33] JP [31] 229251/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/009947 2003.8.5

[87] 国际公布 WO2004/013365 日 2004.2.12

[85] 进入国家阶段日期 2004.3.12

[71] 专利权人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 中西匡 高宫俊人 河野正树

审查员 彭 敏

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 王维玉 武玉琴

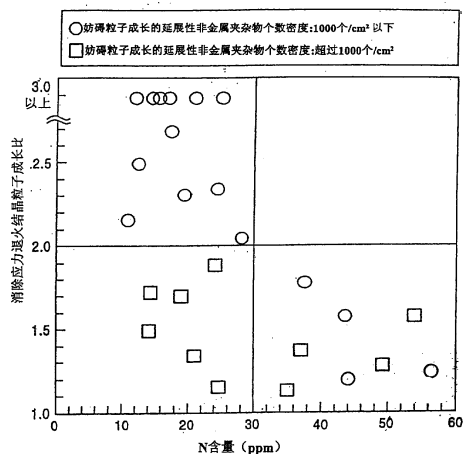
权利要求书 2 页 说明书 27 页 附图 1 页

[54] 发明名称

无方向性电磁钢板、旋转机用部件及旋转机

[57] 摘要

本发明提供一种无方向性电磁钢板，含有质量比为 0.1% ~ 1.2% 的 Si 及 0.005 ~ 0.30% 的 Mn；把 C 限制在 0.0050% 以下(含 0)；把 Sol. Al 限制在 0.0004% 以下(含 0)；把 N 限制在 0.0030% 以下(含 0)；使分散在钢板中的妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度达到 1000 个/cm² 以下(含 0)，这样，从同一钢板同时裁取转子材料和定子材料，就能够使转子材料达成高磁通密度及高强度，使定子材料在实施消除应力退火后达成高磁通密度及低铁损。此处，妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物是指，成品退火后的钢板的平均再结晶粒径设为 D 时，长度为 3 × D ~ 9 × D 的夹杂物。



1. 一种无方向性电磁钢板，以质量%（以下相同）含有 Si: 0.1%~1.2%、Mn: 0.005~0.3%，分别将 C、Al、N 及 O 限制成 C: 0.0050%以下（含 0）、Sol.Al: 0.0004%以下（含 0）、N: 0.0030%以下（含 0）、及 O: 0.0100%以下（含 0），作为其余部分含有 Fe 及不可避免的杂质，相对再结晶晶粒的平均粒径 D，长度为 3D~9D 的夹杂物的个数密度在 1000 个/cm² 以下。
2. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，以质量%还含有 Sb: 0.005%~0.10% 及 Sn: 0.005%~0.2% 所组成的组中选择的至少 1 种。
3. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，以质量%还含有 P: 0.001%~0.2% 及 Ni: 0.001%~0.2% 所组成的组中选择的至少 1 种。
4. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，以质量%还含有 REM: 0.0001%~0.10% 及 Ca: 0.0001%~0.01% 所组成的组中选择的至少 1 种。
5. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，在所述不可避免的杂质中，以质量%分别将 Ti、Nb 及 V 限制成 Ti: 0.0020%以下（含 0）、Nb: 0.0050%以下（含 0）、及 V: 0.0060%以下（含 0）。
6. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，在所述不可避免的杂质中，以质量%将 S 限制成 S: 0.0050%以下（含 0）。
7. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，所述再结晶晶粒的平均粒径 D 为 6 μ m~25 μ m。
8. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，相对再结晶晶粒的

平均粒径 D ，长度为 $3D \sim 9D$ 的上述夹杂物的个数密度在 0.1 个/cm^2 以上。

5 9. 根据权利要求 1 所述的无方向性电磁钢板，该钢板为至少通过冷轧及其后的成品退火而制造的钢板，所述成品退火的温度为 $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 。

10 10. 一种无方向性电磁钢板，其特征在于，为权利要求 1 所述的钢板，通过在 750°C 下 2 小时的消除应力退火，使再结晶晶粒的平均粒径成长为 2 倍以上。

11. 一种无方向性电磁钢板，对权利要求 1 至 10 中的任何一项所述的钢板实施消除应力退火而制成。

15 12. 根据权利要求 11 所述的无方向性电磁钢板，所述消除应力退火的温度为 $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 。

20 13. 一种旋转机用转子部件，把权利要求 1 至 10 中的任何一项所述的无方向性电磁钢板进行层压而制成。

14. 一种旋转机用定子部件，把权利要求 1 至 10 中的任何一项所述的无方向性电磁钢板进行层压之后，实施消除应力退火而制成。

25 15. 一种旋转机，具有把同一无方向性电磁钢板作为原材料的权利要求 13 所述的转子部件和权利要求 14 所述的定子部件。

无方向性电磁钢板、旋转机用部件及旋转机

5 技术领域

本发明涉及用于旋转机组装的无方向性电磁钢板。本发明还涉及利用上述无方向性电磁钢板而组装的旋转机用部件及旋转机。

背景技术

10 为了降低旋转机的能耗，有效的是，提高旋转机的铁芯，即转子（rotor）及定子（stator）的磁通密度，同时，降低这些铁芯的铁损。作为降低铁损的措施，一般可以采用提高 Si、Al、Mn 等的含量，使铁芯材料的电阻增加的措施。还有，除了这些措施，公知的方法例如有特开昭 58-151453 号公报所公开的添加 B 的方法、特开平 3-281758
15 号公报所公开的添加 Ni 的方法等。还有通过使电磁钢板的集合组织中例如具有 {100}〈UVW〉方向的结晶粒子优先成长来提高磁特性的方法，例如，在特开昭 58-181822 号公报等中提出的方法。采用根据这些措施而制造的无方向性电磁钢板，就能够制造高磁通密度、低铁损的铁芯。

20

旋转机的铁芯所使用的无方向性电磁钢板，由钢板制造厂家实施成品退火（最终退火），作为产品板出厂后，在下游厂家被组装到旋转机的转子和定子中。在该组装工序中，由钢板冲切成转子用铁芯板或定子用铁芯板后，根据需要实施消除应力退火。

25

公开的技术中还有通过对这种消除应力退火中的再结晶晶粒的成长性进行改善，使铁损进一步降低的技术。例如，在特公昭 58-55210 号公报及特开平 8-269532 号公报等中提出如下技术：把钢板中的 Sol.Al 量分别降低到 0.0010% 以下、0.003% 以下，通过对细微的 AlN 的析出进行抑制，使消除应力退火中的粒子成长性得以改善，从而降低铁
30

5 损。还有，在特开平 3-24229 号公报中又提出如下技术：把 Sol.Al 量降低到 0.001% 以下，把 N、V 的含量的积控制在规定的值以下，同样可以对消除应力退火中的粒子成长性进行改善，从而降低铁损。在特开平 7-70719 号公报中提出如下方法：把 Sol.Al 量降低到 8ppm 以下，再把 Ti+Al 的量控制在 20ppm 以下，等等，从而对消除应力退火中的粒子成长性进行改善。

10 再有，在特开昭 63-195217 号公报及特开平 7-150248 号公报中提出，在低 Al 化的基础上，对 Si、Al、Mn 的复合氧化物所形成的夹杂物的组成进行控制，防止该夹杂物进行延展，就能够改善消除应力退火中的粒子成长性，降低铁损。

15 但是，即使采用这些技术，对消除应力退火所引起的铁损的改善量也不充分，例如，在成品退火后（出厂时），对 6W/kg 左右的钢板进行消除应力退火，能够使它改善到 5W/kg 以下，即使如此，对于在成品退火后（出厂时）预先降低至约 5W/kg 左右的钢板，则难以通过消除应力退火把它改善到 4.4W/kg 以下。

20 但是，在旋转机用的铁芯的制造中，为了维持较高的材料成品率，一般由冲床从同一钢板冲切出转子用铁芯板和定子用铁芯板。接着，把这些转子用铁芯板和定子用铁芯板分别进行层压，并组装到转子和定子中。

25 其中，转子是旋转部件，伴随高速旋转而受到大的应力，因此必须具有很高的强度。特别是近年来，为了提高旋转机（电机）的效率，开发出了稀土类磁铁埋入式转子，显著地提高了转子的旋转速度。因此，对构成转子的电磁钢板的磁通密度及强度，例如上降伏点（YP），与以往相比提出了更高的要求。另一方面，对于定子，具有高磁通密度、且铁损低这两点对旋转机的小型化和节能化很重要。

30

这样，即使是同一个电机所使用的电磁钢板，转子的组装所使用

的钢板（以下称为“转子材料”）和定子的组装所使用的钢板（以下称为“定子材料”）的要求特性也不同，难以同时满足两种特性。以往公开的技术是分别满足作为转子材料或定子材料的特性，而不是同时满足它们双方的特性。

5

发明内容

本发明的目的是提供一种高磁通密度无方向性电磁钢板，从同一钢板同时截取转子材料及定子材料，并能够使转子材料中具有高磁通密度及高强度、使定子材料中具有高磁通密度及低铁损，另外提供一种采用该钢板的旋转机用部件及旋转机。

10

本发明为

1. 旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板，其中：

含有质量比为 0.1%~1.2% 的 Si 及 0.005~0.30% 的 Mn；把 C 限制在 0.0050% 以下（含 0）；把 Sol.Al 限制在 0.0004% 以下（含 0）；把 N 限制在 0.0030% 以下（含 0）；作为其余部分含有 Fe 及不可避免的杂质；分散在钢板中的妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物（deformable non-metallic inclusions with grain growth inhibition）的个数密度（number of inclusions per unit area）在 1000 个/cm² 以下（含 0）。

15

20

此处，妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物是指，在延展性非金属夹杂物之中，钢板的平均再结晶粒径（再结晶晶粒的平均粒径）设为 D 时，长度为 3×D~9×D 的夹杂物。另外，此处的钢板是指处在成品退火后的产品板的状态，即处在没有进行消除应力退火的状态的钢板，平均再结晶粒径及延展性非金属夹杂物的长度当然也是指在产品板状态下的值。还有，延展性非金属夹杂物是指通过轧制而比较容易延展（或者在产品板等中已经延展）的比较粗大的非金属夹杂物，不过，在钢板中延展的大致上是非金属夹杂物，因此，以后简称延展性夹杂物。

25

30

另外，上述无方向性电磁钢板的组成优选的是实质上由 Si、Mn、

C、Sol.Al、N、其余部分的 Fe 及不可避免的杂质而构成。

2. 根据上述 1 的发明的旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板，
其中：还含有从质量%为 0.005%~0.10%的 Sb 及 0.005%~0.2%的 Sn
5 中选取的 1 种或 2 种。

3. 根据上述 1 或 2 的发明的旋转机用高磁通密度无方向性电磁
钢板，其中：还含有从质量%为 0.001%~0.2%的 P 及 0.001%~0.2
10 %的 Ni 中选取的 1 种或 2 种。

4. 根据上述 1 至 3 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无
方向性电磁钢板，其中：还含有从质量%为 0.0001%~0.10%的 REM
及 0.0001%~0.01%的 Ca 中选取的 1 种或 2 种。

5. 根据上述 1 至 4 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无
方向性电磁钢板，其中：在上述不可避免的杂质中，按质量%分别把
15 Ti 限制在 0.0020%以下（含 0）、把 Nb 限制在 0.0050%以下（含 0）、
把 V 限制在 0.0060%以下（含 0）。

6. 根据上述 1 至 5 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无
方向性电磁钢板，其中：在上述不可避免的杂质中，按质量%分别把
20 S 限制在 0.0050%以下（含 0）、把 O 限制在 0.0100%以下（含 0）。

7. 根据上述 1 至 6 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无
方向性电磁钢板，其中：上述再结晶晶粒的平均粒径 D 为 6 μ m~25 μ m。
25

8. 根据上述 1 至 7 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无
方向性电磁钢板，其中：该钢板是至少通过冷轧及其后的成品退火而
制造的钢板，上述成品退火的温度为 700℃~800℃。即，采用通常方
法对无方向性电磁钢板用板坯进行处理，制成具有最终板厚的冷轧钢
30 板之后在 700℃~800℃下实施成品退火而制成的制品。

5 9. 旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板，其特征是：上述 1 至 8 中任何一项的发明的无方向性电磁钢板，通过在 750℃下 2 小时的消除应力退火，使平均再结晶粒径成长为 2 倍以上（即消除应力退火结晶粒子成长比为 2 以上）。

10 10. 旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板（消除应力退火板），对上述 1 至 9 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板（产品板）实施消除应力退火而制成。

11. 根据上述 10 的发明的旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板，其中：上述消除应力退火的温度为 700℃～800℃。

15 即，上述 1 至 9 中的各发明的无方向性电磁钢板可以由以下方法制成：采用通常方法对向同性电磁钢板用板坯进行处理，制成具有最终板厚的冷轧钢板之后，在 700℃～800℃下对它实施成品退火，优选的是使平均再结晶粒径成长为成品退火后的粒径的 2 倍以上。

20 12. 旋转机用转子部件，对上述 1 至 9 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板，优选的是，进行冲切之后再进行层压而制成。

25 13. 旋转机用定子部件，对上述 1 至 9 中任何一项的发明的旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板，优选的是，进行冲切、层压之后再实施消除应力退火而制成。

30 14. 旋转机，具有把同一旋转机用高磁通密度无方向性电磁钢板作为原材料的上述 12 的发明的转子部件和上述 13 的发明的定子部件。

即，对上述 1 至 9 中的各发明的无方向性电磁钢板进行冲切之后

再进行层压，就能够做成高强度旋转机转子部件。还有，进行冲切、层压之后再实施消除应力退火，就能够做成低铁损旋转机定子部件。再有，采用从同一无方向性电磁钢板得到的转子部件和定子部件，就能够做成高性能的旋转机。

5

附图说明

图 1 是以妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的存在个数为参数来表示无方向性电磁钢板的粒子成长比，即消除应力退火后的钢板的平均结晶粒径对成品退火后的钢板的平均结晶粒径的比，与钢板的 N 含量的关系的图。

10

具体实施方式

本发明者首先注意到以下几点。

15

(1) 无方向性电磁钢板的饱和磁通密度由原材料的铁的含量（质量%）决定，如果铁以外的元素，例如 Si 或 Mn 等的含量高，饱和磁通密度就会下降，这一点不可避免。

20

(2) 磁通密度及强度由钢板的结晶粒径来支配。

(3) 如上所述，在下游厂家进行消除应力退火，通过该消除应力退火，能够使结晶粒径增大、使铁损降低。

25

考虑到上述几点，本发明者们找出了下述各方法的组合。

(1) 采用 Si 含量及 Mn 含量低的无方向性电磁钢板，以确保高磁通密度；

(2) 在成品退火后的产品板中，以比较细的粒子获得高强度，并且，高度确保消除应力退火中的结晶粒子的成长性；

30

(3) 对于转子材料，不进行消除应力退火而确保强度；对于定子材料，通过实施消除应力退火，使粒子成长来实现低铁损；

通过上述的组合，在上述转子及定子的制造工序中使结晶粒径均衡化，就能够分别付与转子及定子必要的特性。

5 本发明者们进一步研究了在定子的组装过程中所进行的消除应力退火工序中支配结晶粒径成长的主要原因，找出了下述各方法的组合。

(1) 按照工业级极为严格地对 Al 的上限值进行限制，对 AlN 等微细析出物进行抑制；

10 (2) 按照与成品退火后的钢板的平均结晶粒径的关系，把分散在钢板中的延展性夹杂物的个数密度限制在规定值以下，即，特定的尺寸范围的延展性夹杂物对消除应力退火中的结晶粒子成长性具有支配性影响，从而更加致密且有效地对延展性夹杂物进行控制；

15 于是，根据上述的组合，在下游厂家的定子组装过程中进行的消除应力退火工序（例如，750℃下 2 小时）中，就能够使结晶粒径显著地成长，达成这一见解后，就促成了本发明。

下面，对适用于本发明的电磁钢板的化学组成（质量%）进行说明。

20

Si: 0.1~1.2%

为了增大钢板的电阻、降低铁损，必须含有至少 0.1% 的 Si。但是，如果 Si 含量超过 1.2%，磁通密度就会降低，硬度就会增大，而且加工性也会变差。因此，Si 含量定为 0.1~1.2% 的范围。

25

Mn: 0.005~0.30%

为了获得良好的热轧过程中的加工性，Mn 是必要的成分，为此，必须含有 0.005% 以上。但是，如果超过 0.30%，磁通密度就会降低。因此，Mn 含量定为 0.005~0.30%。

30

C: 0.0050% 以下（含 0）

为了抑制磁时效变差，必须极力降低 C。还有，为了充分发挥在本发明中所采用的极低 Al 化的条件下的集合组织的改善效果，必须降低到 0.0050% 以下。但是，这种 C 的降低并非必须在初始材料，即铁水或者板坯的阶段达成。即，可以在钢板的制造过程中，成品退火结束之前达成。代表性的脱碳措施是脱碳退火。另外，在制造过程中进行脱碳时，优选的是，初始材料中的 C 量在 0.0050%~0.1% 的范围内。

Sol.Al: 0.0004% 以下 (含 0)

为了获得良好的粒子成长性和磁特性，必须把钢板的 Al 量降低到 0.0004% 以下。如果 Al 含量超过 0.0004%，钢板中就会析出 AlN，成品退火后的产品板中的磁通密度就会减小。另外，消除应力退火过程中的再结晶晶粒成长性也会降低，因而就不能获得使铁损值显著降低的本发明的良好效果。

N: 0.0030% 以下 (含 0)

N 与 Al 结合而成为氮化物 (AlN) 的析出原因，此外，与 Ti 等结合而形成各种氮化物，成为使成品退火后的制品的磁通密度降低的原因。还会妨碍消除应力退火过程中的再结晶晶粒成长，从而成为妨碍充分降低铁损值的原因。因此，必须使 N 含量降低到 0.0030% 以下。优选的是 0.0025% 以下。

本发明的无方向性电磁钢板，除上述的基本组成之外，可以根据目标钢板特性而添加 Sb、Sn、P、Ni、REM、Ca 中的至少 1 种。对于它们的适当含量，以后再进行说明。除上述之外，即使含有 Cr: 5% 以下、Cu: 5% 以下之中的至少 1 种，也不会妨碍本发明的效果。

还有，作为其它不可避免的杂质，具有代表性的有 Ti、Nb、V、S、O，对于它们的适当范围，以后再进行说明。再有，Cu: 0.2% 以下、Cr: 0.08% 以下、Zr: 0.005% 以下、As: 0.01% 以下、Mo: 0.005% 以下、W: 0.005% 以下等不可避免的杂质也是允许的。

本发明的无方向性电磁钢板具有上述的基本组成，不过，只靠组成的控制不能达到本发明的目的。在分散在成品退火后的钢板中的非金属夹杂物之中，钢板（成品退火后的产品板）的平均再结晶粒径设为 D 时，必须使长度为 $3 \times D \sim 9 \times D$ 的延展性夹杂物（延展性非金属夹杂物）的个数密度为 $1000 \text{ 个}/\text{cm}^2$ 以下（含 0）。以后，把这种长度为 $3 \times D \sim 9 \times D$ 的延展性非金属夹杂物定义为妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物。

此处，平均再结晶粒径是指，对在钢板的 0.5mm^2 的面积中存在的结晶粒子的个数进行测定，据此算出对 1 个结晶粒子所对应的平均面积，算出与该平均面积相等的圆的直径后，所采用的该直径。该平均结晶粒径是对在钢板的板宽方向垂直地切开的剖面（所谓 L 剖面）用光学显微镜观察来进行测定的。

延展性夹杂物是指，顺轧制方向延伸的棒状夹杂物，以及在轧制方向连续排列的夹杂物。还有， $10\mu\text{m}$ 以内的距离中存在的 2 个以上的夹杂物对于轧制方向在 $\pm 5^\circ$ 以内的方向并列时，就把这些夹杂物看作连在一起的 1 个延展性夹杂物。

另外，夹杂物中除上述延展性夹杂物之外，还有孤立的圆形夹杂物。这是非延展性夹杂物，不算在延展性夹杂物中。夹杂物的长径为短径的 2 倍以下时分类为圆形夹杂物，超过 2 倍时分类为延展性夹杂物。

作为代表性的延展性夹杂物，有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO 、 CaO 或由其中的几种所构成的复合氧化物（此处，根据组成有时也会成为非延展性的）。

延展性夹杂物的长度是指，在铁素体（母相组织）与夹杂物的界面处的任意 2 点间所引线段的长度的最大值，即延展性夹杂物的两端

部间的距离（把它作为长径）。按照下面的步骤对规定长度的延展性夹杂物的存在个数进行测定。

5 对与钢板的板宽方向垂直的剖面进行研磨，用光学显微镜对研磨（不进行腐蚀处理等）后的面进行观察，把与铁素体部分颜色不同的小区域认定为夹杂物。对 1 个样品的观察视野设定为 5mm^2 ，在根据上述认定的夹杂物中，对认定为属于规定长度的延展性夹杂物形态的个数进行检测，把该个数换算为每 1cm^2 上的个数，作为个数密度。

10

为了调查延展性夹杂物对粒子成长性的影响，进行了实验。下面，对该实验及其结果进行说明。

（实验 1）

15 把 C: 0.002%、Si: 0.7%、Mn: 0.2%、Sol.Al: 0.0004% 以下、S: 0.002%、以及其余不可避免的杂质作为基本成分，制成使 N 在 0.0010~0.0060% 范围变化的板坯。

20 把制成的板坯加热到 1100°C ，热轧至 2.3mm 厚，之后，进行酸洗、冷轧，加工成 0.35mm 的最终板厚，接着，实施 800°C 、15 秒钟的成品退火（再结晶退火），制成成品退火板（产品板）。另外，延展性夹杂物的存在量（个数密度）及形态（长度）的调整例如通过如下方式等进行：

- 25
- （1）通过改变氧含量和 Al 含量来控制氧化物的量及组成；
 - （2）通过改变板坯的厚度等、改变热轧中的轧制进度来控制夹杂物的延伸量。

30 对于制成的制品，测定平均结晶粒径，同时观察夹杂物，测定延展性夹杂物的长度及个数密度。接着，在氩（Ar）气氛中对上述制品实施 750°C 、2 小时的退火（以下简称“消除应力退火”），进行与成品退化板相同的平均结晶粒径的测定。另外，上述退火条件与下游厂

家所用的消除应力退火条件相当。

图 1 是表示消除应力退火后的钢板的平均结晶粒径对按上述方法制成的成品退火后的钢板的平均结晶粒径的比（以下称为“消除应力退火结晶粒子成长比”或简称“粒子成长比”）与 N 含量的关系的图。此处，把成品退火后的平均再结晶粒径设为 D 时，对应于长度为 $3 \times D \sim 9 \times D$ 的夹杂物（称为妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物）的个数密度，采用不同的标记。

由图 1 表明，N 含量在 30ppm（质量 ppm）以下时，如果妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度在 1000 个/ cm^2 以下，消除应力退火结晶粒子成长比就在 2 以上。但是，即使妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度在 1000 个/ cm^2 以下，N 含量超过 0.0030 % 时，或者，妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度超过 1000 个/ cm^2 时，消除应力退火结晶粒子成长比就不到 2。

（实验 2）

从下面的实验 2 也得出了相同的结果。制成具有表 1 所示的组成、其余部分为铁及不可避免的杂质的 3 根厚 250 mm 的板坯，这些板坯经过机械加工后，被分别切成厚度为 25mm、50mm、100mm 及 200mm 的样品。此后，把这些样品加热到 1070℃ 后，热轧为 2.5mm，之后，从酸洗开始，经过冷轧，加工成 0.5mm 的最终板厚。接着，把连续退火型的成品退火（再结晶退火）的条件调整为 700~800℃ 的范围，制成平均再结晶粒径（实验例、实施例中简称平均结晶粒径）为 12 μm 或 14 μm 的产品板。

在 Ar 气氛中对制成的产品板实施 750℃、2 小时的消除应力退火。用光学显微镜对这些产品板（成品退火板）及消除应力退火板的与板宽方向垂直的剖面进行观察，测定其平均结晶粒径。还有，对产品板，测定妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度。其结果如表 2 所示。如同表所示，在产品板的妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物

的个数密度在 1000 个/cm² 以下的样品中，消除应力退火结晶粒子成长比大。

表1

钢 记号	化学组成 (质量%)								
	C	Si	Mn	Sol. Al	N	O	Ti	Nb	V
1	0.0027	0.50	0.27	0.0003	0.0015	0.0090	0.0003	0.002	0.0010
2	0.0021	0.50	0.23	0.0003	0.0019	0.0085	0.0004	0.002	0.0010
3	0.0026	0.60	0.22	0.0001	0.0018	0.0070	0.0003	0.001	0.0010

表2

钢 记号	板坯 厚度 (mm)	平均结晶粒径		消除应力 退火结晶 粒子成长比	妨碍粒子成长的 延展性非金属 夹杂物个数密度 (个/cm ²)	备注
		消除应力 退火前 (μm)	消除应力 退火后 (μm)			
1	25	12	50	4.2	0.3	发明例
	50		34	2.8	61	发明例
	100		22	1.8	1012	比较例
	200		17	1.4	3581	比较例
2	25		46	3.8	0.7	发明例
	50		36	3.0	65	发明例
	100		26	2.2	811	发明例
	200		19	1.6	2778	比较例
3	25		47	3.9	0.3	发明例
	50		43	3.6	19	发明例
	100		26	2.2	286	发明例
	200		22	1.8	1024	比较例
1	25	14	50	3.7	0.3	发明例
	50		32	2.4	42	发明例
	100		26	2.0	828	发明例
	200		16	1.2	3731	比较例
2	25		44	3.1	0.5	发明例
	50		34	2.4	35	发明例
	100		28	2.0	657	发明例
	200		22	1.6	2824	比较例
3	25		50	3.6	0.1	发明例
	50		43	3.1	11	发明例
	100		31	2.2	220	发明例
	200		23	1.6	1038	比较例

如上所述，对组成加以限制，并对妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度适当地加以限制，就能够使消除应力退火后的钢板（组成定子的铁芯材料）的平均结晶粒径达到上述成品退火后的粒径的2倍以上。这样就使定子中的铁损大大降低。

另一方面，转子通过在成品退火后的状态下使用，因此，结晶粒子相对小些，可以保持高强度、特别是高上降伏点（以下简称 YP）。

5 再有，采用上述的转子及定子，就能够有效地组装高速旋转用的高性能的旋转机。

转子所要求的强度级别随旋转机的特性而不同，因此，可以根据转子所要求的强度级别来设计对钢板强度起支配作用的平均结晶粒径的大小。但是，对于一般的旋转机，钢板在成品退火后的平均结晶粒径为 6~25 μm 比较合适。在这种情况下，在钢板的强度以 YP 为 200~400Mpa 左右、维氏硬度 Hv 为 100~170 左右。

15 另外，对本发明的权利范围的解释不会造成影响，不过，可以认为，妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度对消除应力退火结晶粒子成长比起支配作用的机理如下。

首先，可以认为，与结晶粒径同等长度的夹杂物最妨碍粒子成长性。其原因是，延展性夹杂物以切断一个或两个以上的结晶粒界的方式存在，妨碍该结晶粒子成长性的概率就很高。

20 但是，当电磁钢板中存在的非金属夹杂物的总量一定时，可以认为在该钢中所占的体积比大致一定，因此，根据齐纳（Zener）式所示，与结晶粒径相比极端长的夹杂物妨碍粒子成长性的可能性就会降低。

25 换言之，延展性夹杂物妨碍粒子成长性的程度，随夹杂物的长度而不同，按本发明者们的见解，延展性夹杂物的长度为成品退火板的平均结晶粒子的 3~9 倍时，即，为妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物时，这种程度达到最大。因此，长度在该范围的延展性夹杂物，
30 即“妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物”，的个数密度就对“消除应力退火结晶粒子成长比”造成了影响。

另外，Zener 式表示妨碍物对粒子成长的抑制力 I ，即下面的式。

$$I=(3/4)\times(V\times\sigma\times\rho/r_0)$$

- 5 此处， V 为母相的摩尔体积， σ 为粒界能， ρ 为析出物的体积比， r_0 为析出物的平均粒子半径。

10 如上所述，对无方向性电磁钢板的 Si、Mn、C、Sol.Al 及 N 的含量分别进行控制，再把妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度控制在 1000 个/ cm^2 以下，就能够增大消除应力退火结晶粒子成长比，制成适用于旋转机的高磁通密度无方向性电磁钢板。再有，对钢板组成中的 Ti、Nb 及 V 的含量加以限制，或者添加 Sb、Sn，就能够进一步提高其效果。这一点可以通过以下实验得到确认。

15 (实验 3)

20 制成具有表 3 所示的组成、其余部分为铁及不可避免的杂质的钢块，把这些钢块加热到 1070°C 后，热轧为 2.5mm ，之后，从酸洗开始，经过冷轧，加工成 0.5mm 的最终板厚。接着，在 800°C 下进行 10 秒钟的成品退火（再结晶退火），制成产品板后，在 750°C 下实施 2 小时消除应力退火，制成消除应力退火板。从制成的产品板及消除应力退火板上，分别从平行于轧制方向及垂直于轧制方向切下相同数量的样品，按照 JIS C 2550 的标准测定磁通密度及铁损。测定结果一并如表 3 所示。

- 25 另外，各产品板中的平均结晶粒径为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。还有，各产品板中的妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度在 1000 个/ cm^2 以下。

表3

钢 记号	化学组成 (质量%)											铁损 (W/kg)	
	C	Si	Mn	SoL.AL	N	O	Ti	Nb	V	Sn	Sb	消除应力 退火前	消除应力 退火后
11	0.0018	0.90	0.15	0.0001	0.0017	0.0065	0.0024	0.002	0.0010	-	-	6.7	6.1
12	0.0017	0.90	0.17	0.0002	0.0022	0.0060	0.0006	0.006	0.0020	-	-	6.2	5.8
13	0.0025	0.90	0.16	0.0001	0.0021	0.0065	0.0010	0.001	0.0065	-	-	6.4	5.9
14	0.0019	0.90	0.17	0.0002	0.0015	0.0070	0.0009	0.004	0.0020	-	-	5.3	4.3
15	0.0023	0.90	0.18	0.0001	0.0020	0.0060	0.0015	0.002	0.0020	-	-	5.2	4.2
16	0.0021	0.90	0.17	0.0001	0.0017	0.0055	0.0004	0.003	0.0050	-	-	5.1	4.2
17	0.0018	0.90	0.15	0.0002	0.0015	0.0055	0.0006	0.001	0.0010	-	0.01	5.2	3.8
18	0.0018	0.90	0.17	0.0001	0.0022	0.0055	0.0005	0.002	0.0010	0.01	-	5.3	3.7
19	0.0022	0.90	0.17	0.0001	0.0013	0.0060	0.0004	0.001	0.0020	0.02	0.03	5.2	3.6
20	0.0024	0.90	0.19	0.0002	0.0015	0.0065	0.0004	0.002	0.0020	-	0.08	5.2	3.7
21	0.0017	0.90	0.15	0.0001	0.0024	0.0065	0.0003	0.001	0.0010	0.19	-	5.2	3.7

由表 3 表明，把 Ti 限制在 0.0020% 以下，把 Nb 限制在 0.0050% 以下，把 V 量限制在 0.0060% 以下，就能够进一步改善消除应力退火后的磁特性。

5 再有，添加 Sb 及 Sn 中的 1 种或 2 种，就能够大幅度地改善消除应力退火后的铁损。

10 通过降低 Ti、Nb 及 V 量来改善磁特性的机理不是十分清楚，但有以下看法。可以认为，Ti 和 Nb、以及 V 都是氮化物及碳化物形成元素，如果这些氮化物微细地析出，与微细析出 AlN 相同，就会对集合组织形成及结晶粒子成长性造成不良影响。因此，可以认为，通过降低这些元素来防止上述不利情况的出现，结果就能够获得良好的磁特性。

15 降低 Ti、Nb 及 V 量对消除应力退火后的磁特性的影响机理不是十分清楚，但有以下看法。可以认为，如果 Ti、Nb 及 V 的含量多，热轧板退火及再结晶退火时氮化物或碳化物就会部分地固溶。接着，消除应力退火时氮化物或碳化物就会再度析出，妨碍磁畴壁的移动，因此，如果上述各元素多的话，就会使铁损加剧。

20 还有，添加 Sb 及 Sn 中的 1 种或 2 种，就能够大幅度地改善消除应力退火后的铁损，其机理不是十分清楚，不过，可以认为这是由于 Sb 及 Sn 的偏析对 V 等的析出行为造成了影响，使其析出受到抑制或使其析出物变得粗大。另外，即使是使 V 等降低到上述适当范围的钢，
25 V 等的析出在一定程度上也是不可避免的。因此，可以认为，即使是使 V 等降低的钢，添加 Sb 及 Sn 也是有效的。

30 另外，在现有的无方向性电磁钢板中，为了改善合成组织等、降低铁损而添加 Sb 及 Sn，这是公知的（例如，特公昭 56-54370 号公报、特开 2000-129409 号公报，T.Kubota，T.Nagai；J.Mater. Eng.

Perform.1(1992), p.219 等)。但是, 在极度降低 Al、N 等、并对延展性夹杂物加以控制的无方向性电磁钢板中, 添加 Sb 及 Sn 而显著地促进消除应力退火中的铁损改善效果, 是以前不了解的现象。

5 这样, 对混入铁水及 Si 原料中的 Ti、Nb 及 V 在钢中的量加以限制, 就进一步提高了对由上述的 Sol.Al 的降低而造成的微细析出物的防止效果, 同时, 进一步提高了磁特性。特别是, 在使 Al 极力降低后的成分系中, 除对 Ti 及 Nb 量的限制外, 再加上对 V 量的限制, 颇为有利。特别是对于消除应力退火中的铁损的改善, 其效果甚佳。对
10 上述微量元素的限制, 总结如下。

Ti: 0.0020% 以下 (含 0); Nb: 0.0050% 以下 (含 0); 及 V: 0.0060% 以下 (含 0)

15 Ti、Nb 及 V 形成微细的氮化物或碳化物, 从而妨碍集合组织的形成及结晶粒子的成长性。特别是按照本发明、对 Sol.Al 及 N 限制得很低的无方向性电磁钢板, 这种倾向颇为明显。使这些元素分别降低到 Ti: 0.0020% 以下、Nb: 0.0050% 以下、V: 0.0060%, 其氮化物或碳化物形成倾向就会受到抑制, 特别是有利于改善消除应力退火后的铁损。

20

还有, Sb、Sn 的适当添加量如下所述。

25 从 Sb: 0.005~0.10% 及 Sn: 0.005~0.2% 中选取的 1 种或 2 种 Sb 及 Sn 对氮化物的微细析出进行抑制, 同时降低该氮化物对粒子成长的妨碍效果, 这样就有效地促进了具有良好磁特性的集合组织的形成。这种效果当 Sb: 0.005% 以上、Sn: 0.005% 以上时就会体现, 不过, 分别超过 0.10%、0.2% 的话, 反而会妨碍粒子成长性。

30 上述之外, 限制或添加下述元素, 就能够更加有效地发挥本发明钢的特性。

从 P: 0.001~0.2% 及 Ni: 0.001~0.2% 中选取的 1 种或 2 种

冲切过程中会产生压陷及破损, 冲切时产生的异状会变大, 使钢板的面积占有率降低, 等等, 发生这些问题时, 通过至少添加 P 及 Ni 中 1 种, 使本发明的电磁钢板的硬度提高, 就能够避开这些问题。因此, 在对电磁特性、特别是磁通密度无害的范围内, 可以根据下游厂家的要求来添加这些元素。

从 REM: 0.0001~0.10% 及 Ca: 0.0001~0.01% 中选取的 1 种或 2 种

REM 及 Ca 具有使硫化物粗大化、提高铁损性能 (即降低铁损) 的作用。因此, 可以在这些元素发挥作用的范围内, 即在 REM: 0.0001~0.10%、Ca: 0.0001~0.01% 中, 适当添加。

S: 0.0050% 以下 (含 0); O: 0.0100% 以下

如果 S 超过 0.0050%, 与 Mn 及杂质元素 (主要是从废料混入的元素) Cu 等结合而形成 MnS 及 Cu₂S 的倾向就加剧, 从而妨碍结晶粒子成长。还有, 如果 O (氧) 超过 0.0100%, 氧化物就增加, 从而妨碍结晶粒子成长。因此, 优选的是, 把这些元素限制在上述范围内。

对无方向性电磁钢板要求的强度级别及铁损级别, 根据要制造的旋转机的特性而不同。因此, 在本发明中, 不必统一规定成品退火后的钢板的结晶粒径。不过, 如果使平均再结晶粒径 D 处在 6~25 μ m, 前面所述的消除应力退火结晶粒子成长就比较有利, 例如 3 以上, 从而发挥有利的作用。

对上述本发明的无方向性电磁钢板的制造方法没有特别的限制。可以根据具有代表性的下述工艺来制造。

首先, 根据例如连续铸造法, 把按适当成分组成调配好的铁水制

成板坯。接着，对它进行热轧，制成热轧板。再根据需要实施热轧板退火，然后进行一次以上的冷轧，在此期间根据需要实施中间退火，制成最终板厚。在对制成的冷轧钢板实施连续退火（成品退火）的基础上，再根据需要实施绝缘涂覆。还有，板坯的碳含量比本发明成分多时，就在热轧后实施适当的脱碳退火。

在本发明中，对夹杂物之中的延展性夹杂物的量及存在形态的控制，特别是使平均结晶粒径的长度处在规定范围内的延展性夹杂物降低，是很重要的。即，把妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物控制在1000个/cm²以下。这种控制可以根据以下方法中的任何一种或它们的组合来达成。

首先是通过降低氧含量使板坯中的非金属夹杂物的绝对量降低的方法。

还有，通过增加 Al 及 Mn 量使板坯中的非金属夹杂物具有延展性，反之，通过降低 Al 及 Mn 量使其失去延展性（细微化），这种方法也很有效。

还有，对制造条件，特别是对轧制条件进行控制来调整非金属夹杂物的长度，就能够使成品退火后的钢板的平均再结晶粒径不到3倍或超过9倍的延展性夹杂物占大部分。例如，通过板坯厚或者热轧板厚的增减来对热轧的轧制率进行增减，就能够对热轧板中的延展性夹杂物的长度进行调整。还有，即使热轧轧制率相同，通过夹杂物易于延伸的高温区的轧制率的增减，就能够使延展性夹杂物的长度发生变化。再有，如果热轧以后的累积轧制率加大，延展性夹杂物就会变长，如果该累积轧制率减小，延展性夹杂物就会缩短，由于存在这种倾向，就能够通过热轧板厚的增减或者产品板厚的增减来对非金属夹杂物的长度进行调整。

反过来改变成品退火的温度及均热时间等条件，使平均结晶粒径进行增减，结果就可以使大部分延展性夹杂物的长度不到平均再结晶粒径的 3 倍或超过平均再结晶粒径的 9 倍。

5 另外，在上述制造工艺中，优选的是，把对冷轧成最终板厚的冷轧钢板实施的连续退火（成品退火）的退火温度设为 700~800℃，使平均结晶粒径调整到 6~25μm，或者使钢板的硬度调整到适当的级别，例如使维氏硬度（Hv）调整到 100~170。使维氏硬度处于上述范围利于确保钢板的强度及冲切性。

10

把这样制成的无方向性电磁钢板冲切成旋转机用的铁芯，就可以组装成转子及定子。在此过程中，从同一钢板同时冲切出转子及定子用的铁芯材料，分别进行层压，组装成转子及定子部件后，只对定子实施消除应力退火，促进粒子成长，就能够降低其铁损。对转子用的铁芯部件最好不进行与粒子成长相伴的消除应力退火，使其保持高强度。

15

消除应力退火温度优选的是 700~800℃的范围。还有，退火时间为 10 分钟~3 小时比较合适。消除应力退火条件更优选的是在上述的范围之中使消除应力退火结晶粒子成长比成为 2 以上的条件，例如在惰性气体氛围中，优选的是在 750℃进行 2 小时。再有，消除应力退火温度是成品退火温度以上的温度，不过，从确保粒子成长的观点来看是优选的。

20

25 另外，成品退火后的无方向性电磁钢板再经过轻度的变形，例如 0.5~5%的轧制变形，冲切之后，实施 700~800℃的消除应力退火，就能够促进再结晶，使结晶粒径成长为 30~100μm。这样处理后的钢板就可以用于要求特低铁损的定子的组装。前面段落所述的消除应力退火条件也适合于这种情况。

30

实施例

下面，根据实施例对本发明的实施方式进行更加具体的叙述。

实施例 1

5 根据连续铸造法制成具有表 4 所示的成分组成、其余部分为铁及不可避免的杂质的板坯。另外，使 Ti、Nb、V、S、O 的量降低到上述的适当范围。把这些板坯在 1110℃下加热 40 分钟后，进行热轧，制成 2.5mm 的热轧板。对制成的热轧板进行酸洗，除垢后，经过冷轧，制成板厚 0.50mm 冷轧钢板。接着，在容量比为氢：50%—氮：50%的气氛中，在 780℃下实施 10 秒钟的成品退火。在制成的成品退火板上，涂覆由重铬酸盐和树脂组成的半有机涂覆液，在 300℃下进行烧制，制成产品板。

15 另外，通过板坯的厚度的改变及热轧中的轧制进度的改变，使妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的量（个数密度）进行变动。

 从制成的产品板切出样品，按照 JIS C 2550 的标准对磁通密度、铁损、上降伏点（YP）及维氏硬度（Hv）进行测定。另外，上降伏点（YP）为轧制方向和垂直于轧制方向的平均值。

20

 再有，对平均结晶粒径及妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度进行检测。另外，测定是在与宽度方向垂直的面上进行的。

 接着，在氩气氛中，在 750℃下对上述产品板实施 2 小时的消除应力退火之后，与前面的制品相同，对铁损及平均结晶粒径进行测定，还要算出消除应力退火结晶粒子成长比。

25

表4

钢 记号	化学组成（质量％）						板坯厚度 (mm)
	C	Si	Mn	Sol. Al	N	Sb, Sn	
21	0.0032	0.75	0.25	0.0003	0.0025	—	200
22	0.0031	0.80	0.25	0.0004	0.0024	—	200
23	0.0031	0.55	0.26	0.0002	0.0021	—	200
24	0.0032	0.75	0.25	0.0002	0.0017	—	280
25	0.0037	0.80	0.27	0.0003	0.0021	—	280
26	0.0028	0.55	0.25	0.0004	0.0022	—	280
27	0.0031	0.55	0.26	0.0004	0.0021	Sb:0.007	200
28	0.0030	0.55	0.24	0.0004	0.0022	Sb:0.007	280
29	0.0029	0.55	0.25	0.0004	0.0020	Sn:0.008	200
30	0.0029	0.55	0.24	0.0004	0.0019	Sn:0.008	280

得到的结果如表 5 所示。如表 4 及表 5 所示，具有本发明的成分组成及妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物的个数密度的样品，消除应力退火结晶粒子成长比大，因此尤其是消除应力退火后的铁损值低。再与制品（成品退火状态）的上升伏点（YP）及维氏硬度（Hv）比较高的特点相结合，就成为适合于同时冲切并制作旋转机的转子及定子的材料。而且，磁通密度也足够高。还有，特别是在添加了 Sb 及 Sn 的发明例（27、29）中，经过消除应力退火，磁特性的改善很明显。

实施例 2

制成具有表 6 所示的组成、其余部分为铁及不可避免的杂质的厚度为 210mm 的连续铸造板坯。在此过程中，通过适当调整制钢工艺中板坯的组成并适当调整轧制条件，使妨碍粒子成长的延展性非金属夹杂物量处在 1000 个/cm² 以下的范围。

与实施例 1 的情况相同，对制成的板坯进行处理，制成制品，进

行试验。钢记号 58 的成品退火在 680℃下进行，钢标号 59 的成品退火在 850℃下进行。

5 得到的结果如表 7 所示。如表 7 所示，具有本发明的成分组成及平均结晶粒径的样品，都具有良好的消除应力退火结晶粒子成长比及强度、磁特性，因此，就成为适合于同时冲切并制造旋转机的转子及定子的材料。

10 还表明，特别是把成品退火温度控制在 700~800℃，或者把产品板的平均再结晶粒径控制在 6~25μm，对消除应力退火前的高强度和消除应力退火后的低铁损值皆为有利。

表6

钢 记 号	化学组成 (质量%)										
	C	Si	Mn	SeL Al	N	S	O	Ti	Nb	V	其它元素
31	0.0039	0.75	0.38	0.0003	0.0027	0.0045	0.0085	0.0004	0.002	0.0020	
32	0.0034	0.80	0.25	0.0002	0.0023	0.0030	0.0070	0.0003	0.001	0.0020	
33	0.0030	0.55	0.20	0.0001	0.0017	0.0025	0.0080	0.0003	0.004	0.0025	
34	0.0022	0.30	0.25	0.0001	0.0022	0.0035	0.0080	0.0004	0.003	0.0035	
35	0.0045	1.05	0.27	0.0003	0.0015	0.0030	0.0060	0.0005	0.002	0.0025	
36	0.0028	0.90	0.25	0.0004	0.0021	0.0040	0.0090	0.0008	0.003	0.0030	
37	0.0025	0.35	0.19	0.0003	0.0014	0.0020	0.0060	0.0005	0.004	0.0035	
38	0.0023	0.95	0.25	0.0002	0.0018	0.0015	0.0050	0.0004	0.002	0.0030	
39	0.0040	1.10	0.27	0.0002	0.0023	0.0013	0.0040	0.0003	0.002	0.0040	
40	0.0027	1.10	0.28	0.0001	0.0024	0.0022	0.0070	0.0005	0.004	0.0020	Sb:0.008
41	0.0030	1.15	0.25	0.0002	0.0021	0.0035	0.0050	0.0004	0.002	0.0040	Sb:0.061
42	0.0025	0.95	0.26	0.0001	0.0016	0.0040	0.0045	0.0004	0.002	0.0010	Sn:0.010
43	0.0036	0.85	0.20	0.0002	0.0025	0.0035	0.0070	0.0004	0.003	0.0040	Sn:0.150
44	0.0025	0.60	0.19	0.0001	0.0022	0.0025	0.0075	0.0003	0.003	0.0050	Sb:0.062, Sn:0.048, P:0.080, Ni:0.050
45	0.0026	0.30	0.11	0.0002	0.0017	0.0022	0.0060	0.0003	0.003	0.0015	P:0.018
46	0.0038	0.28	0.09	0.0001	0.0029	0.0023	0.0040	0.0004	0.005	0.0015	Ni:0.22
47	0.0043	0.55	0.25	0.0002	0.0029	0.0020	0.0035	0.0003	0.002	0.0010	P:0.040, Ni:0.151
48	0.0038	0.75	0.40	0.0003	0.0028	0.0045	0.0080	0.0004	0.002	0.0020	
49	0.0033	0.80	0.24	0.0005	0.0023	0.0030	0.0065	0.0004	0.001	0.0020	
50	0.0031	0.55	0.18	0.0001	0.0035	0.0025	0.0080	0.0003	0.004	0.0020	
51	0.0045	1.05	0.28	0.0003	0.0016	0.0060	0.0065	0.0004	0.002	0.0020	
52	0.0029	0.90	0.24	0.0004	0.0022	0.0045	0.0110	0.0009	0.003	0.0030	
53	0.0025	0.35	0.21	0.0003	0.0013	0.0019	0.0065	0.0024	0.004	0.0040	
54	0.0022	0.95	0.26	0.0002	0.0019	0.0015	0.0050	0.0004	0.005	0.0030	
55	0.0040	1.10	0.27	0.0002	0.0022	0.0015	0.0045	0.0004	0.002	0.0060	
56	0.0045	1.00	0.24	0.0003	0.0018	0.0060	0.0060	0.0004	0.002	0.0020	REM:0.01
57	0.0040	1.05	0.26	0.0003	0.0017	0.0060	0.0040	0.0004	0.002	0.0020	Ca:0.001
58	0.0040	1.10	0.28	0.0010	0.0080	0.0065	0.0110	0.0004	0.003	0.0060	
59	0.0040	1.00	0.23	0.0001	0.0017	0.0015	0.0040	0.0003	0.002	0.0020	
60	0.0014	0.60	0.22	0.0001	0.0014	0.0015	0.0038	0.0002	0.001	0.0020	Sn:0.015, P:0.07
61	0.0026	0.55	0.23	0.0002	0.0015	0.0017	0.0038	0.0002	0.001	0.0020	Sb:0.01, Ni:0.10
62	0.0038	0.55	0.20	0.0001	0.0020	0.0015	0.0045	0.0003	0.001	0.0030	Sb:0.007, Sn:0.006, Ca:0.001, REM:0.005
63	0.0037	0.65	0.25	0.0001	0.0011	0.0018	0.0050	0.0002	0.001	0.0020	Sn:0.030, Ca:0.002
64	0.0022	0.60	0.21	0.0001	0.0018	0.0018	0.0043	0.0003	0.000	0.0010	Sb:0.035, REM:0.02
65	0.0025	0.12	0.24	0.0002	0.0013	0.0016	0.0051	0.0002	0.001	0.0020	Sb:0.007, Sn:0.010
66	0.0010	0.60	0.22	0.0001	0.0021	0.0013	0.0041	0.0002	0.001	0.0020	Sn:0.015
67	0.0012	0.60	0.19	0.0001	0.0010	0.0019	0.0036	0.0002	0.000	0.0010	Sn:0.020

表7

钢 记 号	制品特性（消除应力退火前）					消除应力 退火后特性		消除应力 退火 结晶粒子 成长比	备注
	V _{15/50} (V/kg)	B ₅₀ (T)	平均结 晶粒径 (μm)	降伏点 (MPa)	维氏 硬度 (Hv)	V _{15/50} (V/kg)	平均结 晶粒径 (μm)		
31	5.3	1.75	14	292	107	4.1	61	4.5	发明例
32	5.4	1.76	15	294	104	4.3	56	3.8	发明例
33	5.6	1.76	14	300	106	4.1	61	4.3	发明例
34	5.9	1.76	14	295	107	4.7	53	3.8	发明例
35	5.2	1.74	14	298	103	4.1	48	3.5	发明例
36	5.3	1.75	14	302	104	3.8	55	3.8	发明例
37	5.7	1.76	15	292	103	4.8	48	3.2	发明例
38	5.6	1.74	14	301	107	3.9	48	3.5	发明例
39	5.2	1.75	13	294	102	3.8	55	4.1	发明例
40	5.1	1.74	14	298	107	3.6	58	4.1	发明例
41	5.1	1.74	13	293	105	3.9	54	4.0	发明例
42	5.2	1.75	14	297	108	3.7	59	4.2	发明例
43	5.3	1.75	15	295	104	3.9	59	3.9	发明例
44	5.5	1.76	15	328	127	3.9	59	3.9	发明例
45	5.8	1.76	16	311	123	4.6	50	3.2	发明例
46	5.8	1.76	14	305	116	4.5	52	3.6	发明例
47	5.9	1.75	13	331	133	4.5	56	4.4	发明例
48	6.5	1.72	10	303	108	5.9	20	1.9	比较例
49	6.8	1.71	10	313	110	6.1	19	1.9	比较例
50	6.9	1.71	10	307	110	6.1	15	1.4	比较例
51	5.8	1.73	11	311	113	4.8	28	2.5	发明例
52	5.8	1.73	12	307	114	4.8	30	2.5	发明例
53	6.2	1.74	13	305	111	5.1	33	2.6	发明例
54	6.0	1.74	13	308	115	4.9	30	2.3	发明例
55	5.9	1.73	12	311	109	4.8	25	2.1	发明例
56	5.3	1.73	14	297	103	4.2	45	3.2	发明例
57	5.4	1.73	13	295	100	4.5	46	3.5	发明例
58	8.7	1.76	5	341	132	6.2	14	2.8	发明例
59	4.9	1.73	30	272	95	4.4	50	1.7	发明例
60	5.4	1.75	14	330	131	3.7	63	4.5	发明例
61	5.5	1.74	14	315	120	3.9	59	4.2	发明例
62	5.2	1.74	15	295	106	3.7	65	4.3	发明例
63	5.2	1.76	14	304	109	3.8	60	4.3	发明例
64	5.3	1.75	14	305	107	3.9	58	4.1	发明例
65	5.6	1.75	15	301	105	4.0	61	4.1	发明例
66	5.2	1.74	14	297	108	3.7	60	4.3	发明例
67	5.2	1.74	14	298	108	3.6	61	4.4	发明例

如上所述，本发明能够提供极其适合于制造旋转机用转子及定子的无方向性电磁钢板。

5 再有，本发明的无方向性电磁钢板还不止于此，它还具有好的所谓再生性特征。即，如果对现有 Al 含量高的铁芯材料进行再生，铸造电机的轴等，就会发生铁水的表面氧化，粘性就会增大。因此，铁水在铸模内的填充性就降低，有时就不能制成完好的铸件。这样，一般含 Al 的废钢铁就缺乏再生性，但是，本发明的无方向性电磁钢板为低 Al 材，具有很高的铸造再生性。

10

工业实用性

15

根据本发明的高磁通密度无方向性电磁钢板，可以从同一钢板同时裁取转子材料及定子材料，并使转子材料具有高磁通密度及高强度，使定子材料具有高磁通密度及低铁损。这样就大幅度地提高了旋转机用部件及与此相关的旋转机的制造效率、输出特性。而且，本发明的无方向性电磁钢板，铸造再生性良好，改善了冲切材的废钢铁再生时的铸造性。

图1

