



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510129113.2

[43] 公开日 2006年5月10日

[11] 公开号 CN 1770595A

[22] 申请日 2005.9.16

[21] 申请号 200510129113.2

[30] 优先权

[32] 2004.9.16 [33] JP [31] 2004-269228

[71] 申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 石见泰造 鹫饲义一 中原裕治

[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 陈伟

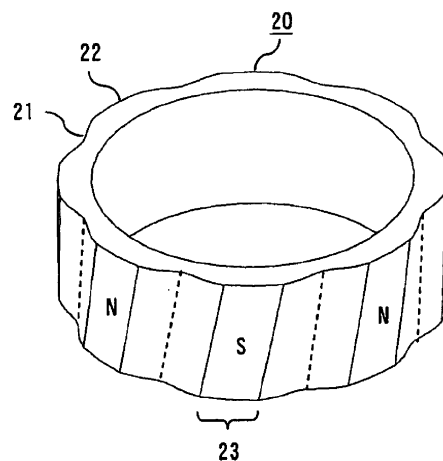
权利要求书 2 页 说明书 19 页 附图 25 页

[54] 发明名称

环形烧结磁铁

[57] 摘要

由具有强磁力的稀土类等构成的环形烧结磁铁，环外周上形成凹凸部，通过使该凹凸部沿轴向扭斜，除了减小旋转方向的磁化分布的形变，还达到减小顿转扭矩的目的。在通过磁场使磁性粉末定向、并经过压缩成型、烧结工序而制造的环形烧结磁铁中，至少在环轴向的一部分区域的环外周上形成有周期性的凹凸形状(21、22)，凹凸形状(21、22)在随轴向的位置变化的同时，磁铁的磁极沿上述凹凸形状(21、22)周期性地形成，磁极的边界设置在凹部(21)。特别是，凹凸形状(21、22)在轴向旋转并倾斜地形成。另外，凹凸形状(21、22)形成为接近于正弦波的绝对值的波形。



1. 环形烧结磁铁, 在通过磁场使磁性粉末定向、并经过压缩成型、烧结工序而制造的环形烧结磁铁中, 其特征在于, 至少在环轴向的一部分区域的该环外周上形成有周期性的凹凸形状, 该凹凸形状在根据轴向的位置变化的同时, 该磁铁的磁极沿上述凹凸形状形成, 上述磁极的边界设置在上述凹部。

2. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 上述凹凸形状在轴向旋转并倾斜地形成。

3. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 上述凹凸形状形成为接近于正弦波的绝对值的波形。

4. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 通过以环轴为中心的圆的一部分来构成与环轴垂直的截面形状的凸部的最外周部。

5. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 通过以环轴为中心的圆的一部分来构成与环轴垂直的截面形状的所有的凸部。

6. 权利要求4或5所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 在上述凸部上构成的圆的一部分(圆弧)与上述凹部的边界上设置有R(倒圆)部。

7. 权利要求4或5所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 作为形成上述凸部上的圆的一部分(圆弧)的区域的精度是与环形烧结磁铁相对设置的定子间的间隔的 $1/5$ 或 $1/5$ 以下。

8. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 上述凹部的形状根据环轴向的位置而变化, 上述凹部的宽度或深度随环轴向的位置发生连续变化。

9. 权利要求8所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 上述凹部的宽度或深度的变化形状构成为相对于轴向中心位置对称。

10. 权利要求8所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 上述凹部的周向宽度的中心位置随着环轴向的位置旋转并倾斜地形成。

11. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 在环轴向的端部, 环外周为圆。

12. 权利要求1所述的环形烧结磁铁, 其特征在于, 上述凹部的周向宽度的中心位置随着环轴向的位置旋转, 相对于环轴的位置变化量的上述旋转角度的比例在轴向的两端区域变小。

13. 一种环形烧结磁铁，其特征在于，其由多个权利要求1的环形烧结磁铁沿轴向层积一体形成。

14. 权利要求13所述的环形烧结磁铁，其特征在于，在多个沿轴向进行层积的环形烧结磁铁中，上述重叠的面是按同样的形状重叠的方式进行叠合而构成的。

15. 权利要求13所述的环形烧结磁铁，其特征在于，在多个沿轴向进行层积的环形烧结磁铁中，构成为使上述重叠的面不形成同样的形状而错开形成。

16. 权利要求13所述的环形烧结磁铁，其特征在于，在多个沿轴向进行层积的环形烧结磁铁中，各个磁铁的凹部形状随环轴向的位置而发生变化，上述凹部的周向宽度的中心位置随轴向位置旋转，各重叠的磁铁的旋转方向不同。

环形烧结磁铁

技术领域

本发明涉及通过磁场使磁性粉末定向，经过压缩成型、烧结工序而制成的环形烧结磁铁的构造。

背景技术

对于用于永久磁铁电机的内转子的径向定向的环形磁铁，为了减轻顿转扭矩等的旋转不均匀，往往要相对轴向倾斜来形成磁极，进行扭斜磁化。但是，径向定向的环形磁铁的磁化分布呈矩形，往往含有高位成分导致的形变，因而仅仅进行扭斜磁化常常达不到充分减轻顿转扭矩的效果。

因此，如专利文献1或专利文献2所示，以往有在环形磁铁的外周形成凹凸，并使凹凸部分相对轴向扭斜的方法。如果采用该方法，则在减轻旋转方向的磁化分布形变的同时，可以通过扭斜而进一步减轻顿转扭矩。

例如，专利文献1中所示的圆筒状磁铁是用粘结树脂将磁性粉粘结起来而形成的一体型磁铁，其内径是恒定的，外径具有沿圆周方向按90度的间隔减小的部分，使得在这四个部分上形成了磁铁的壁厚（径向厚度）减小的薄壁部分（壁厚变化部分）。这四个薄壁部分是按相等的角度间隔形成的。从而，各薄壁部分在圆筒状磁铁圆周方向上的位置沿圆筒状磁铁的轴向发生连续变化。也就是说，薄壁层是相对于圆筒状磁铁的轴按规定的角度进行倾斜而形成的。

另外，在专利文献2中公开了以下内容：为了形成磁场，在使用由树脂形成的磁铁的无刷DC电机中，与定子内周面或外周面相对设置的磁铁面在圆周方向形成了凹凸状，同时，该凹凸部分相对轴向扭斜而形成了磁铁。

【专利文献1】特开平9-35933号公报（图3，第0028-0029、0037段）

【专利文献2】特开2001-211581号公报（权利要求1、图1）

上述专利文献1及专利文献2中所示的磁铁是用热固性树脂或热塑性树脂作为粘结剂对磁性粉进行成型而得到的磁铁，被称为粘结磁铁。这种粘结磁铁的磁力弱，不适用于小型的大功率电机。例如，在稀土类粘结磁铁的情况下，最大能积为10~25MGOe左右，与钕烧结磁铁的40 MGOe的相比磁力弱，不

适用于需要强磁力的伺服电机等。

另外，如专利文献1所述，树脂磁铁需要用特殊的挤压成型机进行制造成型。当采用该成型方法时，通过在成型时施加磁场进行磁铁的各向异性化来提高磁力的手段是不适用的，因此存在磁力本来就弱的树脂磁铁的磁力进一步降低的问题。

并且，在上述的树脂磁铁挤压成型机中，限定为使磁极沿轴向倾斜并旋转所形成的形状。但是，在电机用环形磁铁中，由于磁铁自身的磁特性在轴向不一定相同，作为从环形磁铁到定子的磁通流动容易度的磁导在轴向不同，定子的饱和情况在轴向也不同，因此更加需要在轴向改变磁铁的形状。

另一方面，对可获得强磁力的稀土类烧结磁铁，在其制造方法中，需要有将粉碎后的粉末在磁场成型机中成型并进行烧结的工序，因此通常的烧结后形状精度不好。

本发明是为了解决上述问题而做出的，是由具备强磁力的稀土类等构成的环形烧结磁铁，其外径的圆周方向上形成有凹凸部分，通过使此凹凸部分相对轴向扭斜，除了能减轻旋转方向的磁化分布变形，还达到了减轻顿转扭矩的目的。

另一个目的是获得在环形烧结磁铁的制造过程中，虽然烧结后形状的精度不高，但仍可抑制顿转扭矩的环形烧结磁铁。

还有一个目的是：对于电机用环形磁铁，通过使环形磁铁的形状进一步沿轴向变化，从而修正上述离散，使这些因素引起的顿转扭矩及转矩脉动等力矩不均匀性被抑制在低水平上。

发明内容

本发明是在通过磁场使磁性粉末定向，并经过压缩成型、烧结工序而制造的环形烧结磁铁中，至少在环轴向的一部分区域的环外周上形成的周期性的凹凸形状，在凹凸形状根据轴向的位置变化的同时，沿凹凸形状周期地形成磁铁的磁极，磁极的边界设置在凹部上。在此，作为凹凸形状随轴向的位置进行变化的代表性例子，有凹凸形状是相对于轴向旋转、扭斜而形成的情况，有凹部的形状根据环轴向的位置而变化且凹部的宽度及深度随轴向的位置产生连续变化的情况。

根据本发明的环形烧结磁铁，由于环轴向的磁通量的离散小等，可以精密

地控制磁铁的磁动势分布，因而可以减轻顿转扭矩等力矩的不均匀性。其结果，电机装配时，可以有效地增大电机的磁通量，使力矩增大及电机电流减小，通过降低铜损而提高效率，从而获得了大功率的电机。

附图说明

图 1 是表示本发明实施方式 1 的环形烧结磁铁的立体图。

图 2 是表示本发明实施方式 3 的环形烧结磁铁的立体图。

图 3 是表示本发明实施方式 3 的环形烧结磁铁(磁极的形成例)的立体图。

图 4 是表示常规环形磁铁与本实施方式的环形磁铁的厚度及磁动势在旋转方向上分布的图。

图 5 是用于说明环形磁铁厚度离散和使最外周为圆的一部分的效果的图。

图 6 是表示环形磁铁凹部的磁通流的图。

图 7 是表示本发明实施方式 4 的环形烧结磁铁的圆的一部分及凹部边界为 R 形状的图。

图 8 是表示本发明实施方式 5 的环形烧结磁铁的立体图。

图 9 是表示本发明实施方式 5 的环形烧结磁铁的与轴垂直的截面形状的图。

图 10 是表示环形磁铁旋转方向上的磁铁厚度随轴向位置分布的图。

图 11 是表示图 10 的环形磁铁在轴向的磁铁平均厚度的图。

图 12 是表示图 10 的环形磁铁在旋转方向上磁动势分布的图。

图 13 是表示环形磁铁的磁铁厚度分布的图。

图 14 是表示本发明实施方式 5 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。

图 15 是表示本发明实施方式 6 的环形烧结磁铁的立体图。

图 16 是表示本发明实施方式 6 的环形烧结磁铁(磁极的形成例)的立体图。

图 17 是表示本发明实施方式 6 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。

图 18 是表示本发明实施方式 7 的环形烧结磁铁的立体图。

图 19 是表示本发明实施方式 7 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。

图 20 是表示本发明实施方式 8 的环形烧结磁铁的立体图。

图 21 是表示环形磁铁与定子间的磁通流的图。

图 22 是表示本发明实施方式 8 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。

图 23 是表示本发明实施方式 9 的环形烧结磁铁的立体图。

图 24 是表示本发明实施方式 9 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。

图 25 是表示将本发明实施方式 9 的环形烧结磁铁固定在旋转轴上的状态的图。

图 26 是表示将本发明实施方式 9 的环形烧结磁铁与定子进行组合而构成电机时的截面图。

图 27 是表示本发明实施方式 10 的环形烧结磁铁的立体图。

图 28 是表示本发明实施方式 11 的环形烧结磁铁的立体图。

图 29 是表示本发明实施方式 1 的环形烧结磁铁的成型工艺的图。

图 30 是表示以前的环形磁铁成型体的成型工艺的图。

图 31 是表示了径向定向磁场的示意图。

图 32 是表示由本发明实施方式 1 成型的环形磁铁成型体的立体图。

图 33 是表示本发明实施方式 1 的环形磁铁成型装置上使用的模的立体图。

图 34 是构成本发明实施方式 2 的环形磁铁成型装置的模的立体图。

图 35 是表示本发明实施方式 2 的环形磁铁成型体的成型工艺的示意图。

图 36 是表示本发明实施方式 2 的环形磁铁成型体的成型工艺的示意图。

图 37 是表示本发明实施方式 2 的环形磁铁成型体的成型工艺的示意图。

图 38 是表示本发明实施方式 2 的环形磁铁成型体的成型工艺的示意图。

图 39 是表示本发明实施方式 2 的环形磁铁成型体的成型工艺的示意图。

图 40 是表示本发明实施方式 7 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。

具体实施方式

以下，根据附图对实施本发明的最佳方式进行说明。

实施方式 1

图 1 是表示本发明的实施方式 1 的环形烧结磁铁的立体图。根据本实施方式的磁铁 10 是以钕 (Nd)、铁 (Fe)、硼 (B) 为主成分的环形烧结磁铁，环外周制成具有凹部 11 及凸部 12 的凹凸形状。该凹部 11 及凸部 12 是在环形烧结磁铁 10 的外径圆周方向上周期性形成的。在图 1 的环形烧结磁铁上，凹部 11 及凸部 12 分别按规定角度间隔 (45 度间隔) 设置 8 个。

上述凹凸形状是相对于环形磁铁 10 的轴向以规定的角度进行旋转扭斜而形成的。另外，环形烧结磁铁 10 的磁极是沿上述凹凸形状、相对于轴向以规定的角度进行旋转扭斜而形成的，通常实施了扭斜磁化。并且，磁极 (在图 1 的环形烧结磁铁上是 8 个极) 的边界设置在凹部 11。

接着，对环形烧结磁铁的 10 的具体构成进行说明。本实施例的磁铁 10 的组成为：Nd: 30wt%，B: 1wt%，Dy: 3wt%，Fe: 剩余 wt%。将通过高频溶解而混合形成的原料合金进行氢气脆化处理，用气流粉碎机进行粉碎，得到平均粒径为 4 μ m 的磁性粉末。对该粉末施加磁场，使其磁性结晶方向进行一致地定向，压缩成型为在外径上具有凹部 11 及凸部 12 的环形。然后，经过在真空中和 1080 $^{\circ}$ C、900 $^{\circ}$ C、600 $^{\circ}$ C 下的烧结、热处理工序，得到下述所示形状的环形烧结体。还有，在磁性粉末的磁场成型中，可以是一边施加磁场一边加压，也可以是施加磁场后进行加压。

对环形磁铁的 10 的凹凸形状进行详细说明。与磁铁 10 的轴垂直的截面外周的凹凸形状是使相对于旋转方向（圆周方向）的厚度变化呈正弦波的绝对值波形（正弦波的全波整流波形）而形成的。磁铁 10 的最大厚度（凸部 12）为 3mm，最小厚度（凹部）为 1.8mm。轴长为 14mm，磁铁最外径为 30mm。由于本例中的磁极数为 8，因此正弦波形的厚度变化在旋转方向的每一周上发生 4 次变化。相对于凹凸形状在轴长 14mm 上的变化，扭斜角度进行了 15 $^{\circ}$ 的旋转。这相当于电角 60 $^{\circ}$ 。

使用本发明的环形烧结磁铁 10，与 12 个槽的定子进行组合来制造电机。顿转扭矩的测定结果是：相对于不具有凹凸形状的常规环形磁铁，顿转扭矩减小到了 1/2 以下。

如上所述，由于本实施方式的环形磁铁 10 是由钕类烧结磁铁构成的，具有强磁力，使电机获得了高功率。并且能够使旋转方向的磁铁磁动势分布接近正弦波，可减轻高次谐波的形变。该高次谐波形变成分就是将磁铁装配进电机时成为力矩不均匀性的顿转扭矩的原因。因此，通过减轻该高次谐波形变成分，可以减轻顿转扭矩。另外，通过沿凹凸形状扭斜地形成磁极，再加上降低顿转扭矩的效果，从而可实现具有更小顿转扭矩的电机。

而且，在本实施方式中，作为 N 极和 S 极边界的磁极之间位于凹部 11。易于在极间施加定子产生的强反磁场，虽然磁铁易发生减磁，但最易发生减磁的部位没有磁铁，可以获得减磁所导致的特性变化小的优点。

在上述说明中表示了磁铁 10 组成为 Nd、B、Fe、Dy 的例子，但还可以加入 Co、Al、Cu 及其它添加元素。磁铁 10 的厚度范围可以在磁铁机械强度允许的范围内进行大的变化，从而可以获得更好的效果。虽然上述说明中使厚度的

变化呈正弦波的绝对值的波形，但按其它重复函数或二次函数来重复凹部可以获得同样的效果。

另外，对于扭斜角度，当电角处于 $60\sim 72^\circ$ 的范围及其附近时，可以获得良好的效果，但根据电机的大小，即使其它的角度也可以获得效果。另外，根据想要降低的顿转扭矩成分也能够通过变化角度来对应。

实施方式2

本实施方式的环形烧结磁铁与实施方式1相同，是以钕、铁、硼为主成分形成的环形烧结磁铁，环外周上具有凹凸形状。该凹凸形状是相对于轴向按规定角度进行旋转扭斜而形成的。另外，磁铁的磁极是沿凹凸形状而形成的，磁极的边界设置在凹部。本实施方式的特征是：该磁铁外径的凸形的最外周边是以环内径中心即旋转轴为中心的圆的一部分（圆弧）所构成的。

本实施方式的环形烧结磁铁与实施方式1相同，是通过对磁性粉末施加磁场、进行压缩成型，然后进行烧结·热处理的粉末烧结法来制造的。因此，经压缩的成型体的密度有时会有离散，或定向方向有时不一样，导致烧结后形状变形。结果，从环形烧结磁铁中心开始到作为外径凸部的最外周的距离对于每个凸部都不相同。通过磨削加工或放电加工将该距离大的凸部加工成与旋转轴中心同轴的圆，从而使凸部与内径中心的距离的离散变小。

在将本实施方式的环形烧结磁铁固定在旋转轴上，与定子组合起来而装配成电机的情况下，由于该磁铁最外周是与旋转轴的旋转中心同轴的圆，磁铁与定子的最窄间隔就是磁铁最外周的圆与定子内径的间隔。通过将磁铁最外周的圆直径设置为与定子内径的间隔尽可能窄，可以使作为磁通流过阻抗的定子与磁铁的间隙狭窄化，从而使流入定子的磁通量变大。对本实施方式来说通常是 0.5mm 左右。因此，可以使电机的转矩提高等、提高输出。另外，通过减小获得相同的转矩所用的电机电流，可降低铜损，从而谋求效率的提高。

即使不在所有的凸部上形成圆的一部分，也可以获得上述效果。也就是说，仅对最外周的圆进行加工，而不必加工其它的凸部。还有，虽然最外周圆的中心是环内径的中心，但也可以与电机旋转轴的旋转中心一致。

实施方式3

图2是表示本发明的实施方式3的环形烧结磁铁的立体图。本实施方式的环形烧结磁铁20与实施方式1相同，是以钕、铁、硼为主成分而形成的烧结磁

铁, 环外周形成具有凹部 21、凸部 22 的凹凸形状。该凹凸形状是相对于轴向按规定角度进行旋转扭斜而形成的。

另外, 如图 3 所示, 环形烧结磁铁 20 的磁极是沿凹凸形状相对于轴向按规定角度进行旋转扭斜而形成的。磁极边界(图中虚线所示)设置于凹部 21。并且, 环外周所有的凸部 22 是由具有与环内径中心即旋转轴中心相同的中心的圆的一部分(圆弧) 23 所构成的。

环形烧结磁铁有时会产生如上所述的烧结后形状变形, 在环的外周凸部上, 从中心到最外周的距离对于每个凸部都不同。对于本实施方式, 通过对所有的凸部 22 进行磨削加工或放电加工, 使其成为与旋转轴中心同轴的圆, 从而使从中心到凸部 22 内径的距离恒定。

因此, 当将本实施方式的环形烧结磁铁 20 固定在旋转轴上, 与定子组合起来而装配成电机时, 由于磁铁 20 最外周是与旋转轴的旋转中心同轴的圆, 可以在使定子与磁铁凸部的间隔狭窄化的同时保持恒定。

结果, 作为定子与磁铁 20 之间流过的磁通的阻抗的间隙也相同, 可以减轻流入定子的每个磁通量磁极的离散。由于每个磁极的磁通的离散是顿转扭矩的原因, 因而可以获得降低顿转扭矩的效果。

成为凸部 22 上的圆的一部分(圆弧) 23 的圆周方向的范围可以是使得相对于轴中心的角度比例为 20~80%左右。

在一个磁极上, 其旋转方向两端的每 1/5 处设置有凹部 21, 从而可以降低起磁分布中 5 次高次谐波成分。另外, 在一个磁极上, 其旋转方向两侧的每 1/7 处设置有凹部 21, 从而可以降低起磁分布中 7 次高次谐波成分。

所谓 5 次、7 次高次谐波成分是指环形磁铁的磁动势在旋转方向分布中, 相对于 N 极、S 极重复成分的基波, 重复次数分别为 5 次、7 次的成分。而且该 5 次、7 次高次谐波成分是磁铁产生顿转扭矩或力矩离散的主要原因。

为了减轻成为顿转扭矩起因的 5 次高次谐波, 可以在一个磁极上, 按以轴为中心的角度, 使磁极两端的两个部位上存在有 1/5 以上的凹部。同样, 为了减轻成为顿转扭矩起因的 7 次高次谐波, 可以在磁极两端的两个部位上存在有 1/7 以上的凹部。

另外, 对于除去凹部 21 后的圆的部分 23, 如果其为磁极的 5/7 以下则对 7 次高次谐波有效, 如果其为磁极的 3/5 以下则对 5 次高次谐波、7 次高次谐波有

效。也就是说，可以至少为 5/7 以下 (71%)。

图 4 是表示在没有凹部的常规环形磁铁，以及在磁极两侧每 1/5 设置凹部的环形磁铁中，其磁铁厚度和磁动势分布的图。图 4 (a)、(b) 表示了常规的没有凹凸的环形磁铁的磁铁厚度、磁动势分布及基波、5 次高次谐波成分。图 4 (c)、(d) 表示了带有凹部的环形磁铁的磁铁厚度、磁动势分布及基波、5 次高次谐波成分。由于如图 4 (c)、(d) 所示那样设置了凹部，从而减轻了 5 次高次谐波成分。

实用的环形磁铁的厚度为 3mm，与其对应的磁铁厚度的凹凸的振幅为 1~2mm。另一方面，可以通过在磁场成型时使成型体的密度离散变小而将烧结后磁铁形状的变形抑制在 0.2mm。对于上述的 8 极环形磁铁，磁铁厚度 3mm 所对应的凹凸振幅为 1.2mm。

图 5 为表示环形烧结磁铁的厚度相对于旋转角度的关系图。由于烧结后磁铁厚度出现 0.2mm 的误差，如果如图中虚线所示，切削环形磁铁厚度使得相对于一个磁极的旋转方向，其 20% 形成与环内径中心同轴的圆，则圆与凹部的边界位置的旋转方向离散按角度计为 $\pm 1.25^\circ$ 左右，例如，相对于为了减轻 5 次高次谐波的旋转角、即磁极宽度的 1/5 的凹部角度 9° ，变得十分小。

因此，如上所述，形成圆的区域中凸部的圆的一部分的区域范围可以是使相对于轴中心的角度比例为 20~80%。

另外，如上所述，磁极是沿上述凹凸形状相对于轴向进行扭斜而形成的。磁极的边界虽然设置在凹部 21，但磁极的边界不必形成于凹部 21 中的正确中心位置上。如图 6 所示，凹部 21 的磁极边界上，两侧的磁通量未达到定子，而成为 N 极→空气间隙的空间（凹部）→S 极循环。因此到达定子、产生转矩的主要磁通量取决于在环外周凸部上形成的圆部分的形状。即使磁化精度、磁化轭和磁铁位置确定精度差，仍可获得充分降低转矩变动的效果。

还有，环外周凸部的圆形可以通过磨削加工、线切割、放电加工等来形成。另外，在通过提高环形烧结磁铁的烧结精度来获得烧结后的必需的形状精度的情况下，不进行加工而得到上述形状时也能获得同样的效果。

作为该环的外圆周部分的精度，如果相对于定子与磁铁的间隔可获得 1/5 以下的尺寸精度，则磁通量的变动为 5% 以下，达到了对顿转扭矩产生的影响可被忽略的程度。在上述磁铁厚度为 3mm、定子与磁铁的平均间隔为 0.5mm

的情况下，磁通量的离散为 3%以下。通常使用钕类磁环形烧结磁铁的电机是数百瓦级的，磁铁厚度与磁铁和定子的间隔的比率与上述相比不会产生大幅度的变动。

实施方式 4

本实施方式的环形烧结磁铁 20 与实施方式 1 相同，是以钕、铁、硼为主成分而形成的烧结磁铁，环外周形成了具有凹部 21、凸部 22 的凹凸形状。该凹凸形状是相对于轴向进行旋转扭斜而形成的。另外，磁铁 20 的磁极也是沿凹凸形状相对于轴向进行旋转和扭斜而形成的。磁极边界设置于凹部 21。并且，环外周所有的凸部 22 是由以环轴为中心的圆的一部分（圆弧）23 所构成的。而且，在外周的凸部 22 上的圆的一部分（圆弧）23 与凹部 21 的边界上形成了 R（倒圆）部 27。

也就是说，如图 7 所示，在外周凸部 22 上设置的圆的一部分 23 与凹部 21 的边界上构成了 R（倒圆）部 27，从而使磁铁外周不存在尖锐部分。对于本例，在具有最外径：30mm，磁极数：8，磁铁最大厚度（凸部）：3mm，最小厚度（凹部）：1.8mm 的凹凸形状的环形烧结磁铁上，外周的凸部 22 上设置的以环轴为中心的圆的一部分 23 与凹部 21 的边界上形成了 1.5mm 的 R（倒圆）部 27。在没有 R（倒圆）部 27 的情况下，对旋转方向的表面磁通密度进行测定时上述位置的局部表面磁通密度比其它区域高 10%左右，但通过设置 R（倒圆）部 27，可以抑制局部升高。R（倒圆）为 0.5mm 以上时可产生效果。

尖锐部分的磁通量会增大。当该部分在轴向上不均匀时，在磁铁的一部分上会产生局部具有强磁力的部位，使顿转扭矩增大。例如，电机每旋转一圈，就成为与定子槽数相当的振动次数的顿转扭矩的起因。对于本实施方式，通过设置 R（倒圆）部，可以消除上述转距变动的起因。

对于上述效果，特别在定子上设置空槽、通过提高顿转扭矩在旋转方向上的振动数来实施减缓的方法进行并用时，效果显著，可以更好地获得空槽效果。

实施方式 5

图 8 是表示本发明实施方式 5 的环形烧结磁铁的立体图。本实施方式的环形烧结磁铁 80 在环外周上具有周期性的凹凸形状，同时环最外周形成了与环内径中心（环轴中心）同轴的圆的一部分（圆弧）82。该圆的一部分（圆弧）形成于所有凸部上。作为垂直于轴的截面实例，图 9 表示了图 8 中虚线 A、B 处

的截面形状的示例。与轴垂直的截面分别随轴的位置而变化。也就是说，越靠近环形磁铁的轴向两端，凹部 81 的宽度越窄且深度越浅，越靠近轴向的中间，沟 81 的宽度越大且深度越深。并且，磁极（对于图 8 的环形磁铁为 8 个极）的边界设置在凹部 81。

图 10 (a) ~ (e) 详细地表示了环形磁铁的轴向位置上，各旋转方向上的磁铁厚度的分布。该磁铁厚度对应于磁动势的分布，纵轴可以当做不考虑磁铁极性时的磁动势。另外，若考虑磁极按照 N 极、S 极在纵轴上需要标出 (+)、(-)。由于图示简单，表示了在两个磁极中，从一个极的中心到另一极的中心。角度按一个周期相当于 360° 进行表示。对于图 8 及图 9 的 8 极磁铁，图 10 的分布进行了四次重复。

图 11 是表示图 10 的环形磁铁在轴向的磁铁平均厚度即磁动势分布的图。在左右电机使用的情况下，有助于旋转的磁动势为轴向的累计值，以其平均值来评价即可。

图 12 是表示使图 10 的环形磁铁的凹部厚度最小的部分为 N 极、S 极的边界进行磁化，是考虑了磁性情况的磁动势分布的图。

电机旋转时的转矩变动是对应于流入定子的磁通量的旋转的变动。对环形磁铁的磁动势轴向累积量在旋转方向的分布进行评价时，磁动势的平均值由矩形波变为接近于正弦波分布是必要的。

对于本实施方式，凹部 81 的形状是椭圆的一部分，随着磁铁的轴向位置从中间到两端，椭圆的长径、短径按比例变小。另外，在圆周方向（旋转方向）上具有如下形状，即凹部 81 的占有比例从 80% 变为 20%，深度由磁铁厚度的 80% 变化到 20%。在磁动势分布上，相对于正弦波基波的 5 次、7 次高次谐波分别降低到了矩形波（没有凹凸的环形磁铁）时的 45%、60% 以下。因此，可以减少相当于成为顿转扭矩起因的磁动势分布变形的高次谐波，能够减小顿转扭矩。

还有，磁铁的厚度如图 13 所示，虽然可以在相同的情况下达到在轴向形成同样的磁动势分布的效果，但在烧结磁铁的情况下，尽管可以通过制造工艺中的磁场成型来实现上述形状，但烧结工艺中的形状变形大，难以精密地实现接近于正弦波的厚度。结果，由于精度差，磁动势发生大的误差，从而导致顿转扭矩的增加。

在本实施方式的环形烧结磁铁形状的情况下，非圆的一部分区域的外周凹部形成了深沟。因而，尽管凹部的形状精度差，深度有离散，但由于磁动势轴向分布的累积量可精密地接近正弦波，能够获得降低顿转扭矩的明显效果。

还有，本发明的环形钕烧结磁铁是在磁性粉末压缩成型后进行烧结而制造的。由于烧结时产生收缩，比较难以提高形状精度。另外，可以通过磨削加工形成最外周的圆形，也可以提高烧结形状精度而在来烧结后不进行加工。

在图 8 所示的环形烧结磁铁中，表示了相对于轴向中央、在两个端部方向上对称设置了凹部 81 的例子。在此情况下，环形磁铁的重心平衡良好，具有减轻声音和振动的效果。

但是，即使相对于轴向中央不对称，例如对于凹部 81 的宽度在轴向的一端大，在另一端小等形状，仍可以得到降低顿转扭矩的同样效果。

图 14 为表示本发明的实施方式 5 的环形烧结磁铁的其它形状的立体图。图 14 的环形烧结磁铁 140 越接近于轴向的两端凹部 141 的宽度越大且深度越深，越靠近轴向中间，凹部 141 的宽度越窄且深度越浅。也就是说，凹部 141 的形状为椭圆的一部分，随着轴向位置从中间过渡到两端，椭圆的长径、短径比例在变大。尽管图 14 的环形烧结磁铁具有这种形状，仍可获得与上述相同的效果。

实施方式 6

图 15 是表示本发明实施方式 6 的环形烧结磁铁的立体图。本实施方式的环形烧结磁铁 150 在环的外周上具有周期性的凹凸形状，同时环最外周形成了与环轴中心同轴的圆的一部分（圆弧）152。该圆的一部分（圆弧）152 形成于所有凸部上。与实施方式 1 相同，与轴垂直的截面随轴向位置而变化。与轴垂直的方向的截面的凹凸形状是与实施方式 5 相同的形状。而且，该凹凸形状是进一步相对于轴向进行旋转扭斜而构成的。因此，图 9 及图 10 的形状是随轴位置发生旋转的。磁极的边界是如图 16 的虚线所示那样在凹部 151 中倾斜地进行扭斜磁化。

根据本实施方式的环形烧结磁铁，在磁动势分布形变小的同时，由于使磁极进行扭斜的作用，该磁铁应用于电机时可以减轻顿转扭矩、转矩离散等转矩不均匀性。在本实施方式磁铁的情况下，扭斜旋转角为 15° 或 18° 时可产生效果，与通常的环形烧结磁铁相比，顿转扭矩可以降低到 $1/3$ 以下。

图 17 表示了本发明的实施方式 6 的环形烧结磁铁的其它形状的示例。图

17 的环形烧结磁铁 170 在环的外周上具有周期性的凹凸形状，同时环的最外周形成了与环轴中心同轴的圆的一部分（圆弧）。该圆的一部分（圆弧）形成于所有凸部上。与轴垂直的方向的截面的凹凸形状是与图 14 相同的形状，但该凹凸形状是进一步相对于轴向进行旋转扭斜而构成的。磁极的边界是沿凹部 171 倾斜地进行扭斜磁化的。本形状也可以得到与上述同样的效果。

实施方式 7

图 18 是表示本发明实施方式 7 的环形烧结磁铁的立体图。本实施方式的环形烧结磁铁 180 在轴向规定区域的环外周上形成了椭圆形的凹部 181，轴向两端位置的环外周形成了圆。其它形状与上述实施方式相同。

根据本实施方式的环形烧结磁铁，可以产生更多的磁通量，能够同时减轻顿转扭矩并获得大的电机功率。另外，可以谋求电机电流的减小和效率的提高。另外，得到磁铁的机械强度高的特点。

具有椭圆的凹部 181 的区域相对于轴向长度为 5~30%时可产生效果。在图 18 中，表示了轴向两端设置有与轴向垂直的横截面外径为圆的区域的例子，但是也可以如图 40 那样在轴向中央部设置与轴向垂直的横截面外径为圆的区域。在图 40 的例子中，也可以在轴向的两端面设置短轴（或长轴）定位的半椭圆形凹部 181A，在轴向的中央部设置与轴向垂直且横截面外径为圆的区域。

图 19 为表示本发明的实施方式 7 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。图 19 的环形烧结磁铁 190 在外周的一部分上具有椭圆形凹部 191，同时该凹部 191 是相对于轴向进行扭斜而构成的。因此，除了上述效果，还可以通过扭斜作用来进一步减小顿转扭矩。还有，使图 40 的环形烧结磁铁 180A 的凹部 181A 相对于轴向进行扭斜也可以获得同样的效果。

实施方式 8

图 20 是表示本发明实施方式 8 的环形烧结磁铁的立体图。

如图 21 所示，在环形磁铁的轴向端部，由环形磁铁 2101 产生的磁通 2102 不到达定子 2103，产生了通过磁铁端部的空间而返回磁铁 2101 的成分。因此，使得磁铁 2101 的端部的有效作用磁通量变少。当产生的磁通恒定时，倾斜形成磁极的扭斜磁化作用可以达到减轻转矩变动的效果，但不同的情况下转矩变动的减轻效果小。因此，为了修正磁铁端部磁通量小的情况，如图 20 所示的环形烧结磁铁 200 那样，可以通过使越靠近轴向端部的扭斜角越小（使磁铁从外周

看成为磁极边界近乎与轴平行)来修正磁通量的变动,能够达到更高的减轻顿转扭矩的效果。

图 22 为表示本发明的实施方式 8 的环形烧结磁铁的其它例子的立体图。该环形烧结磁铁 220 在磁铁的最外周上设置了以环轴为中心的圆的一部分,表示了如上所述对扭斜角进行修正的实施例。在对磁通量的变动进行修正和通过扭斜而获得减轻顿转扭矩的效果的同时,可以通过使其与定子的间隔即狭窄又均匀而达到电机功率的提高和顿转扭矩的减小。

另外,根据磁铁的制造方法,磁铁本身具有的磁特性会因定向特性的偏差及杂质的混入等而在轴向发生变化。因此也可以在产生磁通量少的区域,通过减小扭斜角来构成。

实施方式 9

图 23 是表示本发明实施方式 9 的环形烧结磁铁的立体图。图 23 所示的环形烧结磁铁 230 是由多个环形磁铁成型体 235 进行重叠、烧结而形成的,成为在环形烧结磁铁 230 的轴向上存在着边界层 233 的结构。边界层 233 是制造烧结磁铁时产生的结构。环形磁铁成型体 235 形成了与上述实施方式 1 至 8 所示形状相同的环形。图 23 表示了作为代表例子的、与实施方式 1 的形状相同的环形磁铁成型体。

通过这种结构,可以获得轴长较长的环形烧结磁铁、增加有效磁通量、在不加大电机外形的情况下谋求功率的提高,同时可以实现顿转扭矩小的电机。如果用霍尔器件测定表面的磁通密度,则可确认边界层为磁通密度小的区域。

图 24 是在最外周上进一步设置了与环轴同心的圆的一部分 243 的环形烧结磁铁 240 的例子。可以同样地减小其与定子的间隔,可加大有效磁通量,由于可使每个磁极的离散减小,因此可以获得转矩增大、效率提高、顿转扭矩减小的效果。图 25 是表示将本实施方式的环形烧结磁铁 240 固定于旋转轴 1200 的情况的附图,图 26 是表示将固定有环形磁铁 240 的旋转轴 1200 与定子 1100 进行组合构成电机时的截面图。

在具有上述边界层的环形烧结磁铁的情况下,可以使具有与上述实施方式相同形状的环形磁铁成型体进行层积来形成结构,可以将形状不同的材料组合起来进行层积。

在图 23 及图 24 的例子中,环形磁铁成型体进行层积时,按使层积面的形

状重叠的方式进行层积。通过这种层积,使得磁铁表面不存在尖锐突出的部分。由于尖锐突出的部分关系到的磁通密度会急剧增大,因而是顿转扭矩的起因。通过使层积面重叠来进行层积,可以防止磁通密度的急剧增大,能够减小顿转扭矩。

实施方式 10

图 27 是表示本发明实施方式 10 的环形烧结磁铁的立体图。在本实施方式中,当对环形磁铁成型体 271 进行层积而制造整体的环形烧结磁铁 270 时,环形磁铁成型体 271 是沿旋转方向错开而进行层积的。此时,层积面的形状互不重叠。于是,通过使在旋转方向形成错开角度的各层的顿转扭矩形成抵消,即进行相位偏置而进行层积,就可以减小顿转扭矩。

在环形磁铁的磁极数为 8 极和定子的槽数为 12 的情况下,电机每一周产生 24 次顿转扭矩。采用相当于由 24 除 360° 所得到的 15° 一半的 7.5° 错开,可以使上下两个环形磁铁分别产生的顿转扭矩形成抵消,能够减小顿转扭矩。

实施方式 11

图 28 是表示本发明实施方式 11 的环形烧结磁铁的立体图,是在环轴向上具备边界层的环形磁铁的其它例子。图 28 的环形烧结磁铁的 280 是通过以下方式形成的:使环外周上形成有周期性的凹凸部且该凹凸部发生扭斜的环形烧结磁铁成型体 281 进行层积、烧结,使凹凸部的扭斜方向在边界部交界处相反。通过这种构造,可以使每一层在轴向产生的力变小,从而降低声音和振动。

实施例

实施例 1

接着,对用于制造上述实施方式的环形烧结磁铁的成型装置(成型模具)及成型工艺进行说明。

作为烧结磁铁材料,可以使用例如 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 类的磁性材料合金。在对磁性材料合金进行粗粉碎处理、氢气脆化处理,使用气流粉碎机微粉碎成平均粒径为 $4\mu\text{m}$ 的微粒。使用该磁性粉末,按以下所述方法径向定向成型环形磁铁成型体。

图 30 中表示了以往的径向环形磁铁的常规成型工艺。图 31 表示了放射定向磁场的示意图。

如图 30 所示,以往的环形磁铁成型体的制造装置配备有强磁性体的模 41、

在模41的内周侧设置的磁心42、非磁性体上冲头43和下冲头44。另外，如图31所示，径向定向磁场配备有上下的一对电磁线圈45a及45b，上侧电磁线圈45a产生向下的磁力线，下侧的电磁线圈45b产生向上磁力线，这些磁力线通过磁心42而导入模腔46。于是，在模腔46中发生径向磁力线的流动，并通过模41形成环流。从而，在模腔46中形成径向定向磁场的状态下，通过上冲头43或下冲头44从轴向压缩模腔46的磁性粉末47，就获得了环形磁铁成型体48。

基于图30(1)~(6)，对以往的成型工艺进行说明。

(1) 通过模41和磁心42、下冲头44来形成模腔46。

(2) 通过未图示的供粉器，在模腔46中填充磁性粉末47。

(3) 降下上冲头43和上磁心43b，在模腔46闭合的状态下形成径向定向磁场。此时，磁心42和上磁心43b进行接触而形成了磁回路。

(4) 通过降下上冲头43，沿轴向压缩模腔46中的磁性粉末47，从而成型环形磁铁成型体48。

(5) 除去上冲头43的加压力后，通过降下模41而从模41中抽出环形磁铁成型体48。

(6) 升起上冲头43后，从成型装置中取出环形磁铁成型体48。

如上所述，在以往的方法中，虽然可以成型轴向的截面形状为一定的环形磁铁成型体，但是像上述实施方式的环形磁铁那样轴向截面形状发生变化时，例如像图32所示那样环形截面相对轴向旋转(扭斜)时，是不能用以往的成型装置及成型方法进行成型的。

其原因在于，在图30中，由于环形磁铁成型体48在进行压缩成型时受到了上冲头43的加压，除去上冲头43的加压力后，环形磁铁成型体48存在于模41中期间，环形磁铁成型体48内部残留有压缩应力，会向外径方向膨胀。因此，如果沿轴向方向抽出环形磁铁成型体48，则会与模41内面之间产生摩擦力。在环形磁铁成型体48的轴向截面形状相同的情况下，如果简单地沿轴向压挤环形磁铁成型体48，就可以从模41中抽出环形磁铁成型体48(在图30中是固定下冲头44，拉下模41)，但是在截面形状不一定的情况下，仅仅通过轴向压挤是不能从模41中抽出环形磁铁成型体的。

在图32所示的环形磁铁成型体30的情况下，由于扭斜角度是恒定的，如果一边使环形磁铁成型体30进行一定旋转一边进行抽出，从几何学上来说是可

以从模中抽出的,但是实际上环形磁铁成型体 30 没有可以耐受模具内周面所产生力的强度,如果采用这种脱模方法,会不可避免地会使环形磁铁成型体 30 发生破损。

图 33 表示了本发明中使用的模。而图 29 表示了使用该模的环形磁铁成型工艺。

如图 29 所示,本发明中使用的环形磁铁成型体的制造装置是配备有由弹性材料组成的环形模 31、设置于模 31 内周侧的强磁性体磁心 32、设置于模 31 外周侧的强磁性体环状部件 33、和设置有模具 31、磁心 32 及环状部件 33 的基座 34。向由模具 31 的内周面、磁心 32 的外周面围成的间隙部分 35 中提供磁性粉末 47。

另外,如图 33 所示,模具 31 的内周面上周期性地(45°间隔)形成了由 8 个凹部 31a 及凸部 31b 组成的凹凸形状。该凹凸形状是相对于轴向进行旋转倾斜而形成的(扭斜),扭斜角度为 6.87 度(模具内周面的轴长为 16.2mm,凹部内径(最大直径处)为 $\phi 44\text{mm}$,凸部内径(最小直径处)为 $\phi 42\text{mm}$,磁心直径为 $\phi 33\text{mm}$)。凹凸之差为 1mm。

图 29 所示的冲头 36 起到了对间隙部分 35 内填充的磁性粉末 47 及模具 31 进行加压的加压部的作用。另外,模具 31 是由硅橡胶(凝胶)形成的,可以在施加径向定向磁场时使用,此时含有例如 40~70 体积%的铁粉。铁粉均匀分散于模具 31 内。

接着,基于图 29 对环形磁铁成型工艺进行说明。

(1) 通过模具 31 和磁心 32 来形成模腔 35。

(2) 向模腔 35 中填充磁性粉末 47。此时,进行的充填要使模腔 35 中的磁性粉末 47 的体积密度为 3。

(3) 接着,在模腔 35 的磁性粉末 30a 上施加径向定向磁场。使定向磁场的强度为 3T 以上。

(4) 接着,通过非磁性材料冲头 36 沿轴向对模腔 35 中的磁性粉末 47 及模具 31 同时加压。由于具有弹性的模具 31 的外周部受到刚体的环状部件 33 的约束,发生向中心方向的膨胀变形。由此通过轴向及外径方向的加压对模腔 35 中的磁性粉末 30a 进行了压缩成型。该压缩形成的环形磁铁成型体 30 的尺寸是,外径为 $\phi 42.24\text{mm}$,内径为 $\phi 33\text{mm}$,高度为 15.55mm。

(5)接着,升起冲头 36。从而,因轴向加压而在中心轴方向发生变形的模具 31 恢复原状,环形磁铁成型体 30 的外径部和模具 31 内径部出现间隙。相对于环形磁铁成型体 30 的最外径(凸部外径)为 $\phi 42.24\text{mm}$,未加压时模具 31 的最内径(凸部内径)为 42mm ,因而产生了约 0.1mm 的间隙。

(6)接着,从磁心 31 中抽出环形磁铁成型体 30,从而结束成型。

通过使端面形状保持一致将3个由这种方法得到的环形磁铁成型体 30 在轴向进行层积,在 1080°C 下烧结后,在 600°C 下进行热处理,从而得到环形磁铁烧结成型体。然后,对环形磁铁烧结体的上下端面、内径进行磨削加工。根据情况在加工后施加用于防腐蚀的表面处理。

使该环形烧结磁铁 10 的外周凸形棱线与极位置重叠而进行径向磁化,并组装进电机,从而可以得到上述顿转扭矩小的高功率电机。

实施例 2

图 34 是表示用于制造本发明的环形磁铁成型体的模的例子立体图。如图 8(a)、(b)所示,本例的模 1800 是由 4 个拱形部件 1810、1820、1830、1840 组合形成的。在拱形部件 1810~1840 组合状态下的模 1800 的内周面(模腔的外周部)上,周期性地(45 度间隔)形成了由 8 个凹部 1800a 及凸部 1800b 组成的凹凸形状。该凹凸形状是相对于轴向进行旋转倾斜而形成(扭斜)的,扭斜角度为 6.9° ,轴长 26mm ,凹部内径(最大径部)为 $\phi 43\text{mm}$,凸部内径(最小内径)为 $\phi 41\text{mm}$,磁心直径为 $\phi 33\text{mm}$ 。凹凸之差为 1mm 。模内径的最外周部(直径最大的部分:凹部的顶点部分)是由以环中心轴为中心的圆的一部分(圆弧状) 1850 构成。

接着,对本实施例的环形磁铁成型体的成型工艺进行说明。图 35~图 39 是表示实施例 2 的环形磁铁成型体的成型工艺的示意图,为了使图清晰化,略去了一个拱形部件 182,从而可清楚地描述装置内的情况。

如图 35 所示,在模的拱形部件 1810、1820、1830、1840 的外周部上分别连接了液压缸驱动的直线运动机构 1810A、1820A、1830A、1840A,成为可沿环径向移动的构造。另外,沿下冲头 1910 和上冲头 1920 的外径部形成了凹凸形状。该凹凸形状的间隙设定为 $0.01\sim 0.04\text{mm}$ 。虽然未作图示,为了用上冲头 1920 对模腔内的磁性粉末进行加压,通过电机和圆头螺钉进行轴向移动那样的构造,再通过伺服电机与轴向冲程同步,仅模 1800 的凹凸形状的扭斜角度部分

进行旋转而构成。在本实施方式中，通过控制使得在轴向进行26mm的冲程期间，上冲头1920进行9.6度的顺时针旋转。另外，按以下方式设置上冲头角度的基准：当上冲头1920的下端面移动到与模1800的上端面一致的位置时，使模上端面的截面形状与上冲头下端面的截面形状一致。

然后，分别通过直线运动机构1810A、1820A、1830A、1840A沿轴向方向对4个拱形部件1810、1820、1830、1840施压，从而形成环形的模1800。由该模1800、强磁性体的下磁心1930和非磁性体的下冲头1910形成模腔。接着，通过供粉器向模腔中填充磁性粉末1000a，形成图35的状态。

接着，如图36所示，使非磁性体的上冲头1920和强磁性体的上磁心1940下降，在模腔闭合的状态下施加径向定向磁场。此时，下磁心1930和上磁心1940产生接触而构成磁回路。

接着，如图37所示，一边使上冲头1920以与上述角度相同的比例进行旋转一边下降，压缩磁性粉末1000a而形成环形磁铁成型体1000。还有，此时，也可以同时使下冲头1910边旋转边上升。从上下两方向加压使得磁铁成型体内密度均匀，提高了磁铁成型体的成型精度。

接着，如图38所示，使上冲头1920和上磁心1940升起后（使上冲头1920边旋转边上升），通过液压缸驱动的直线动力机构使构成模1800的拱形部件1810、1820、1830、1840向环外径方向移动。移动距离要大于模内面的凹部1800a与凸部1800b之差。使模1800即拱形部件1810、1820、1830、1840从环形磁铁成型体1000的外周面脱离，从而均匀地释放环形磁铁成型体1000内的压缩应力，难以因脱膜而发生成型体破损。

接着，如图39所示，从下磁心1930中抽出环形磁铁成型体1000，从而得到环外周在轴向上发生扭斜的环形磁铁成型体。使构成模1800的拱形部件1810、1820、1830、1840向环外径方向移动时，环形磁铁成型体1000的压缩应力得到了释放，环的形状因弹性回复而变大，因此下磁心1930和环形磁铁成型体1000之间出现了间隙。并且由于模1800向外径侧移动，环形磁铁成型体1000的最外周部（凸部顶点）与模80的最内周部（凸部顶点）之间出现了间隙，因此可以容易地从下磁心1930中抽出环形磁铁成型体1000。

在保持端面形状一致的情况下，将3个由此形成的环形磁铁成型体1000进行层积，在1080℃下烧结后，在600℃下进行热处理，从而得到环形磁铁烧

结体。然后，对环形磁铁烧结体的上下端面、内径进行磨削加工，在外径部分上只对圆弧形部分进行磨削加工。还有，根据情况在加工后施加用于防腐蚀的表面处理。

然后，使该环形烧结磁铁的外周凸形棱线（圆弧形状的中点在轴向汇集而形成的线）与极位置重叠而进行径向磁化，并组装进电机，从而可以得到上述顿转扭矩小的高功率电机。

如上所述，本发明的上述实施方式的环形烧结磁铁是使用环形磁铁成型体制造装置，用磁场使磁性粉末发生定向并经过压缩成型、烧结工序而制造的，该环形磁铁成型体制造装置配备了具有弹性的环状模、设置于模内周侧且与该模之间形成了供给磁性粉末的模腔的磁心、和向模腔内供给磁性粉末及从轴向对模具加压的加压部；与模的内周面的轴垂直的截面具有随轴向位置而变化的部分。

另外，本发明的上述实施方式的环形烧结磁铁是使用环形磁铁成型体制造装置，用磁场使磁性粉末发生定向并经过压缩成型、烧结工序而制造的，该环形磁铁成型体制造装置配备有由多个拱形部件构成的环形的模、设置于模的内周侧且与该模之间形成了供给磁性粉末的模腔的磁心、和向模腔内供给磁性粉末及从轴向对模具加压的加压部，与模的内周面的轴垂直的截面具有随轴向位置而变化的部分。

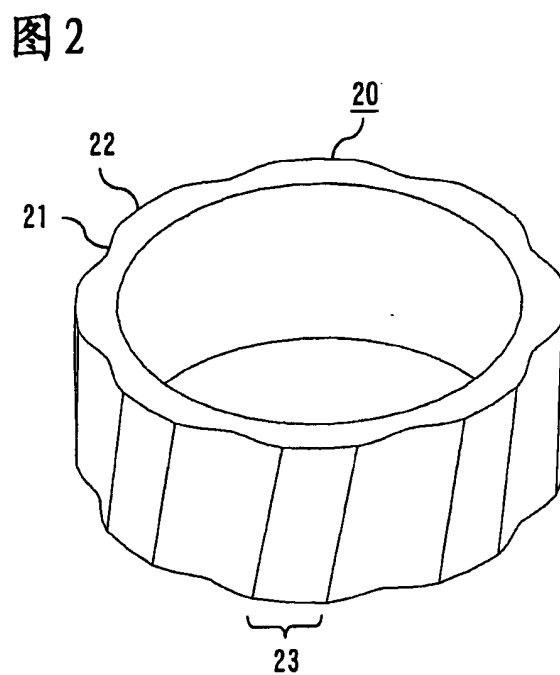
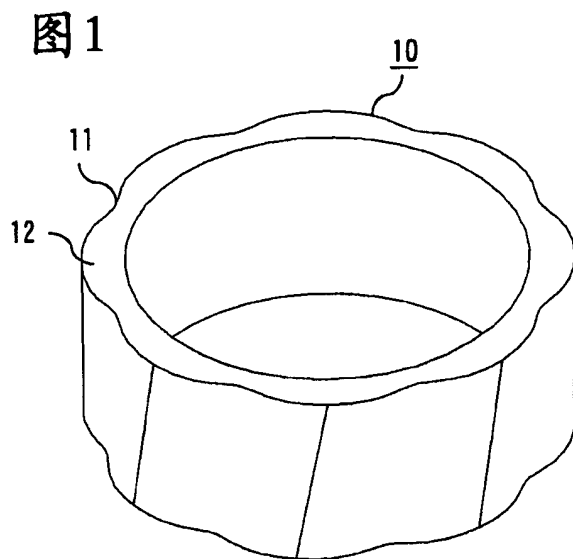


图3

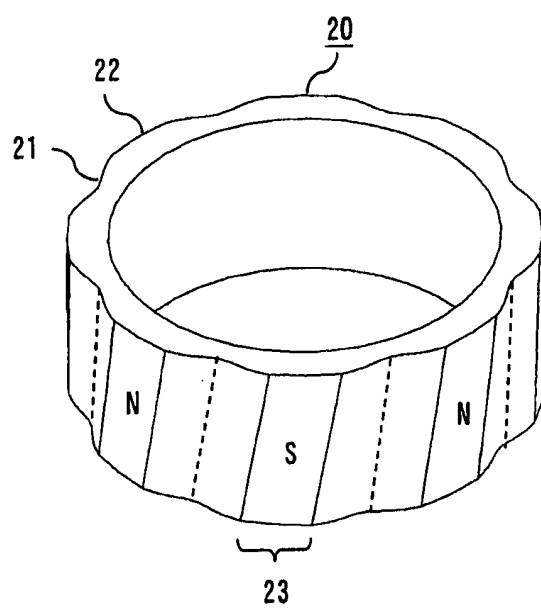


图4

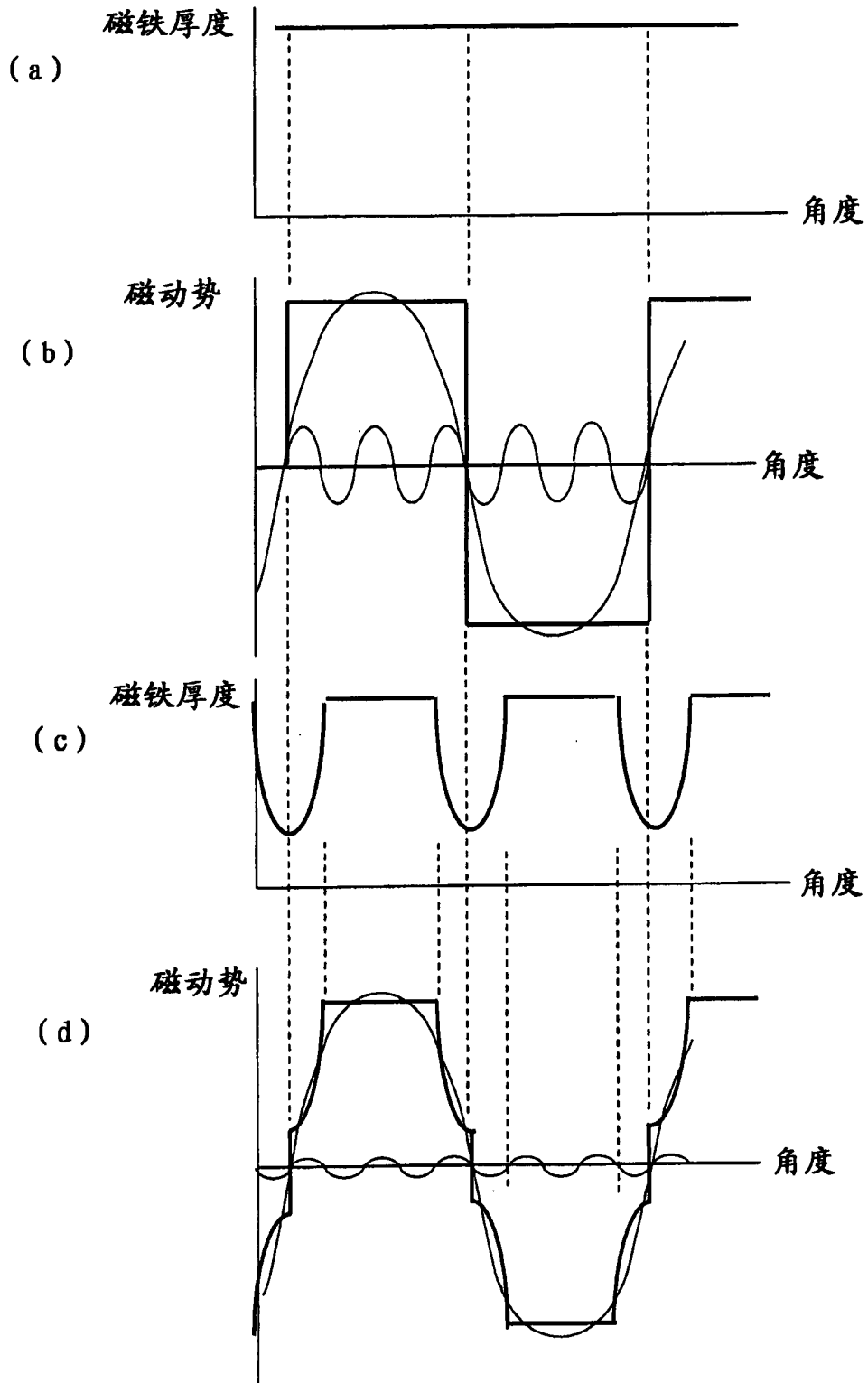


图5

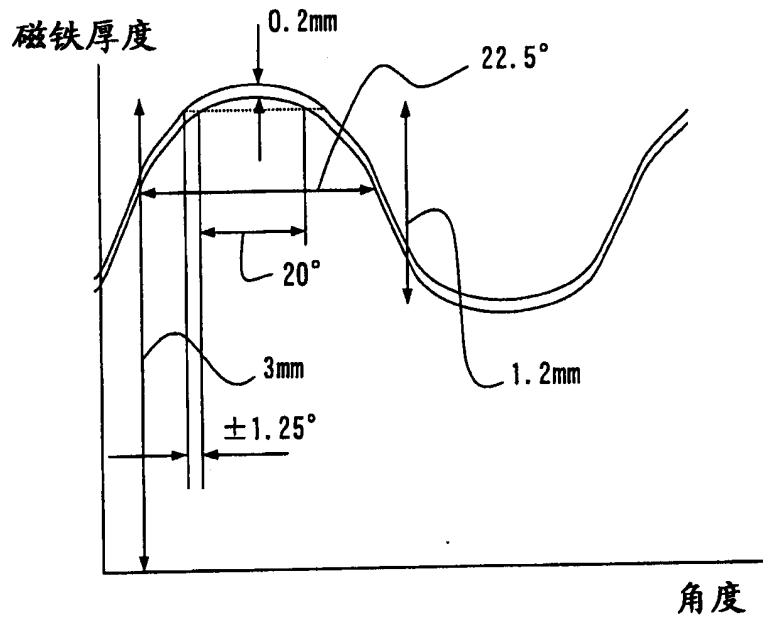


图6

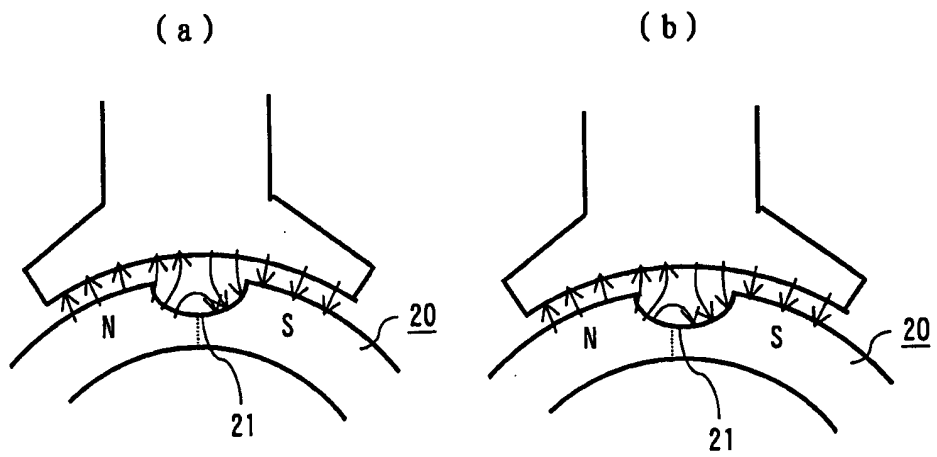


图7

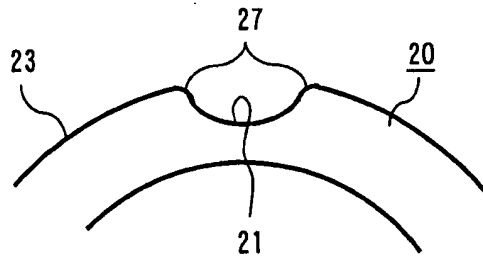


图8

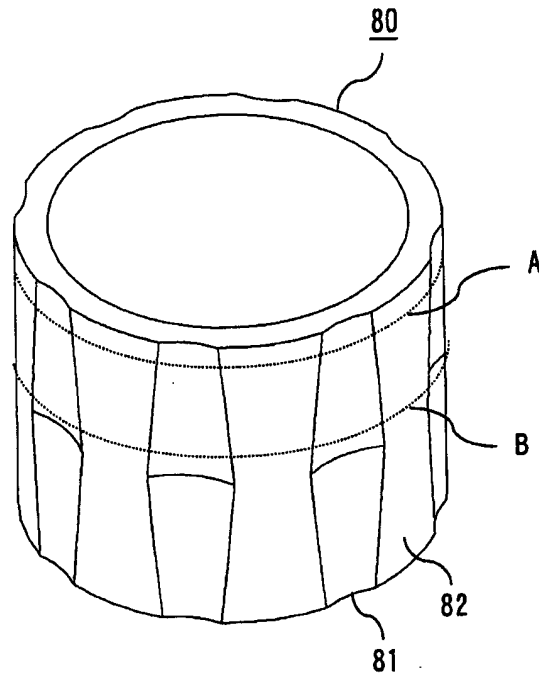


图9

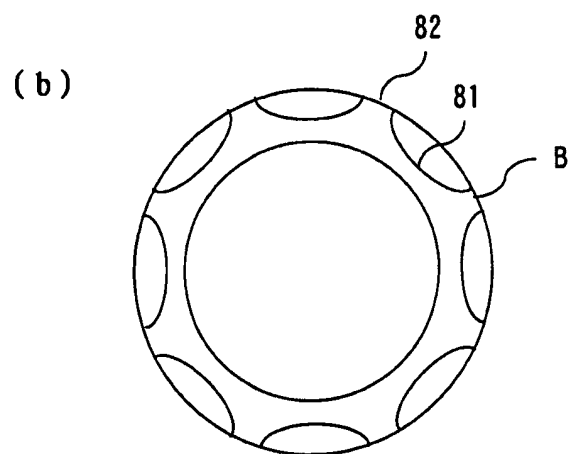
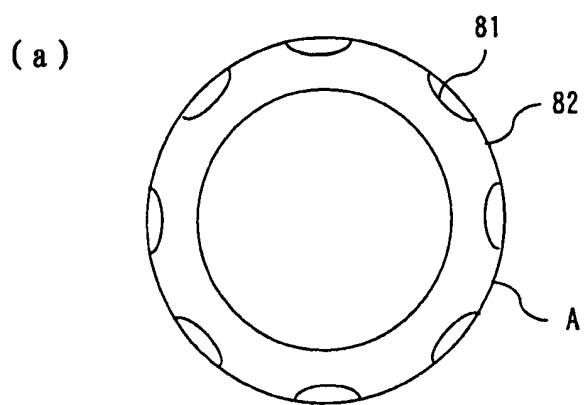


图10

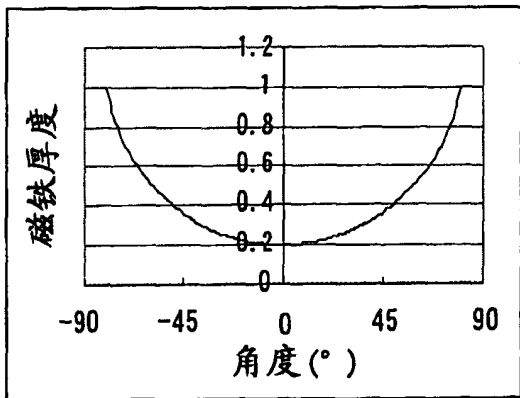
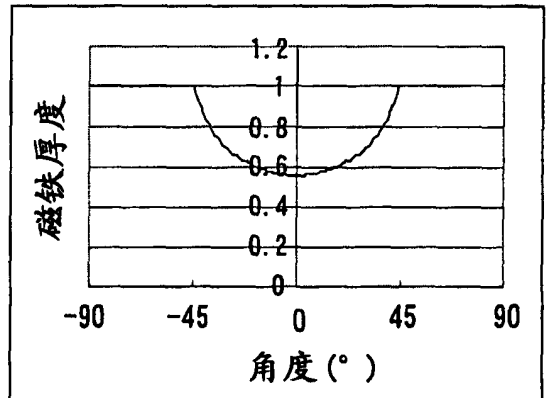
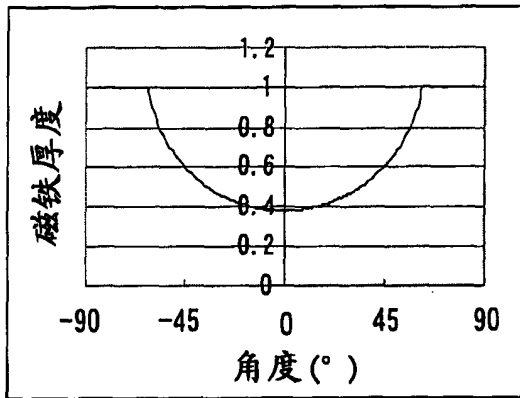
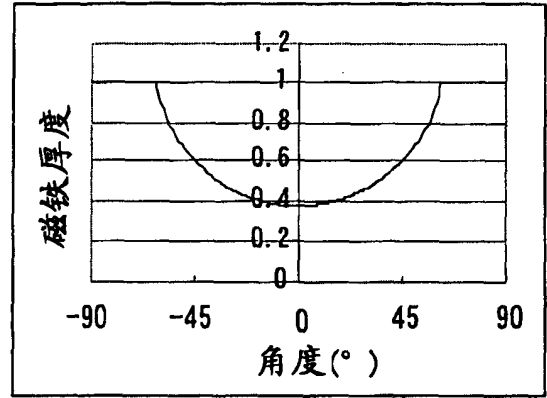
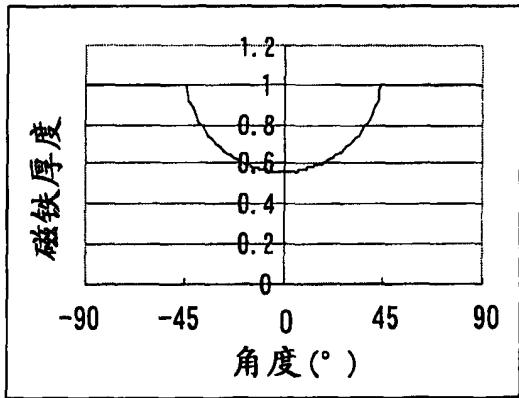


图11

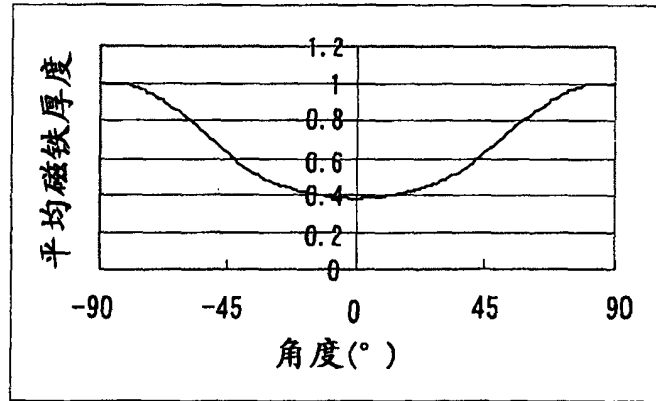


图12

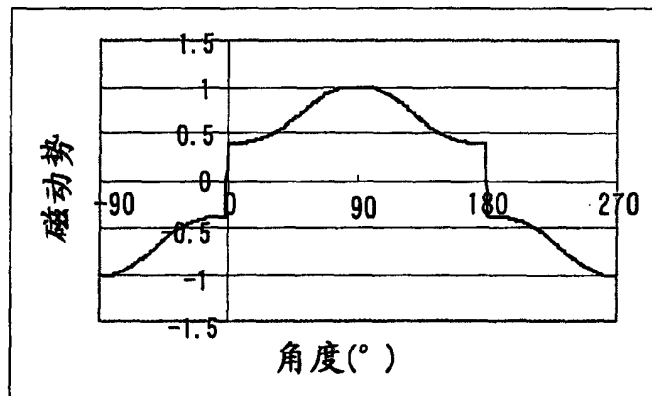


图13

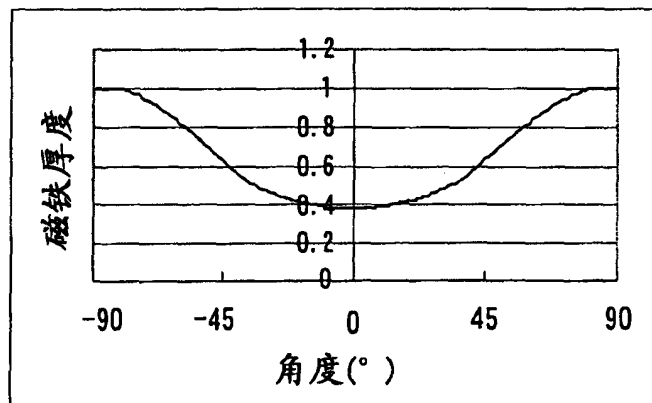


图14

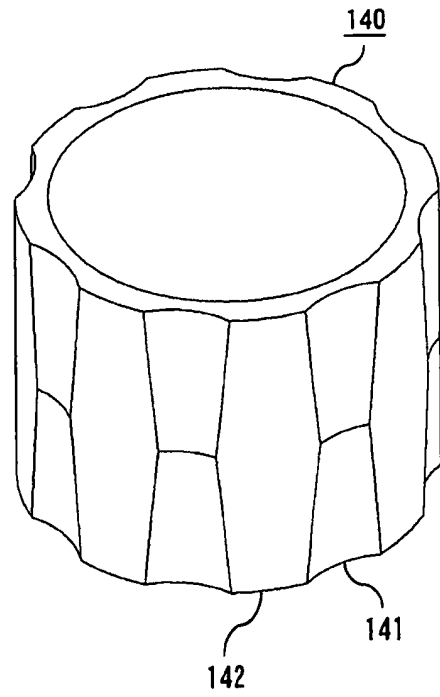


图15

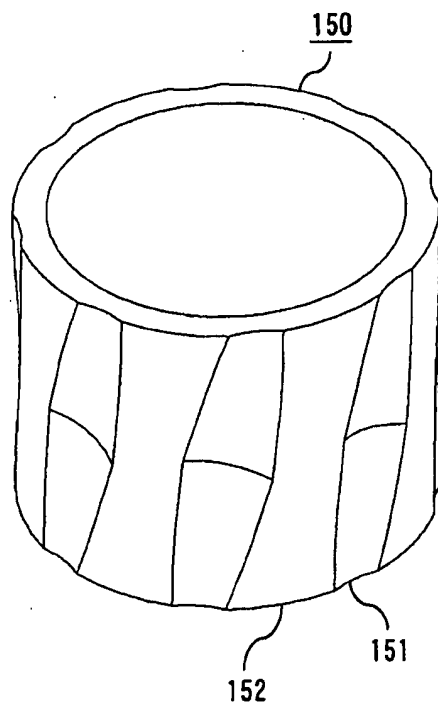


图 16

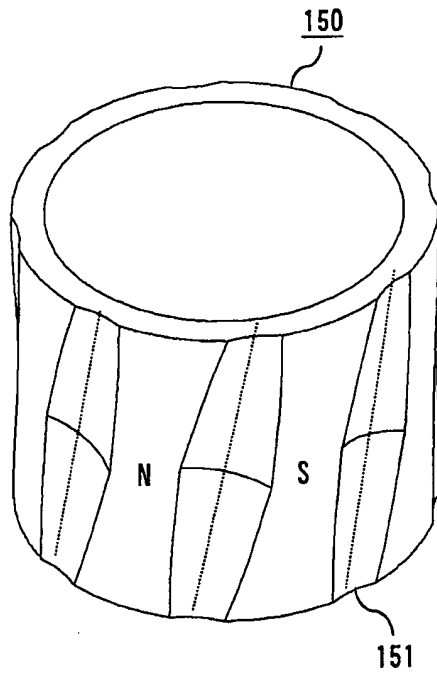


图 17

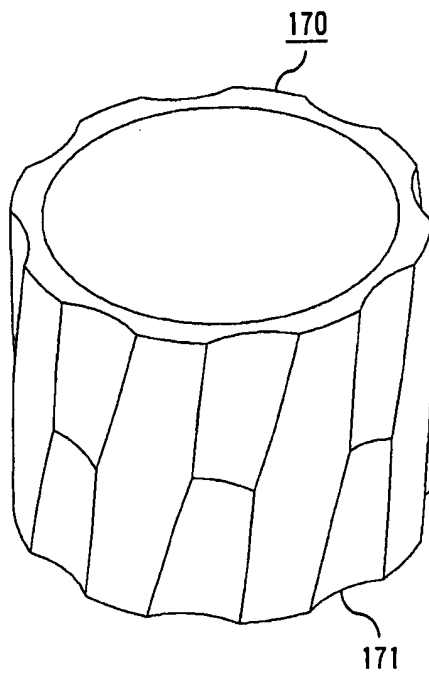


图 18

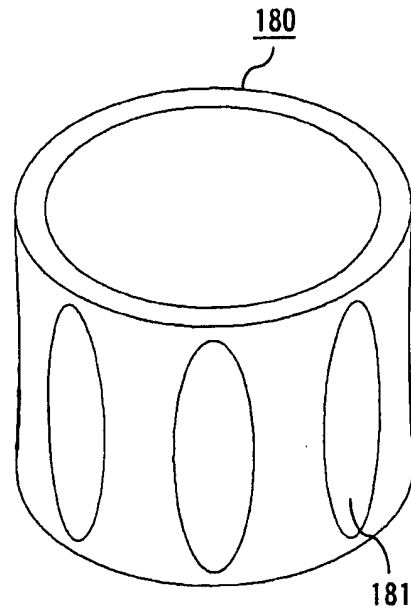


图 19

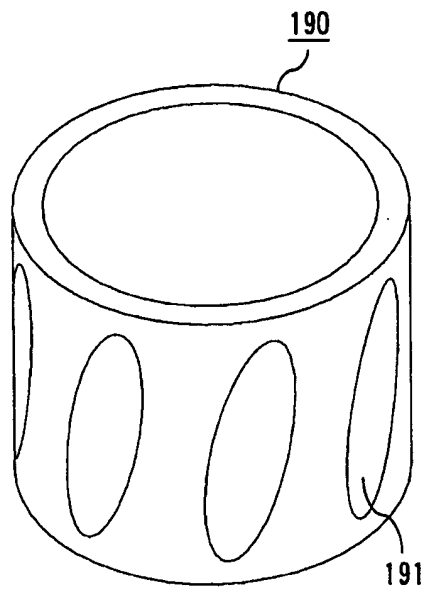


图 20

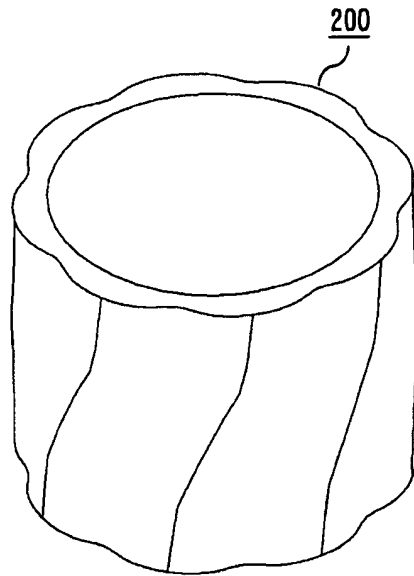


图 21

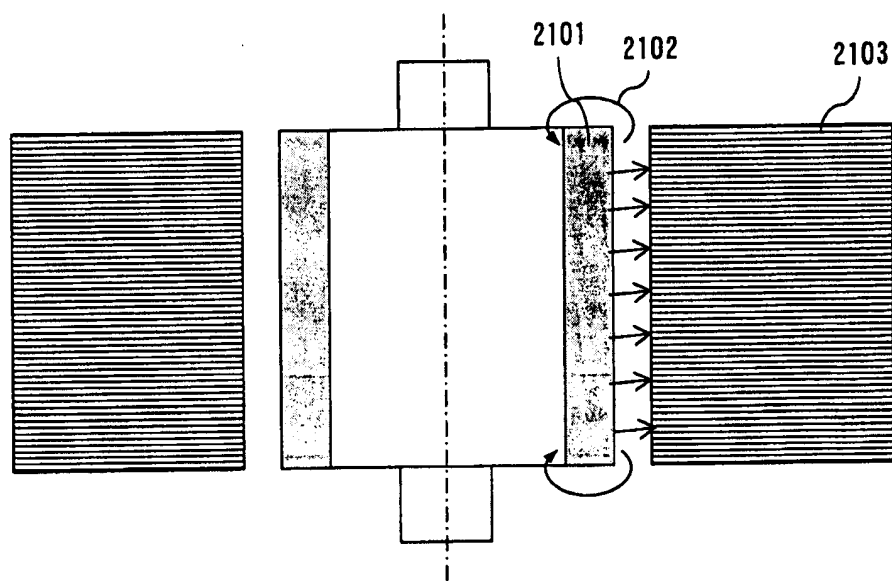


图 22

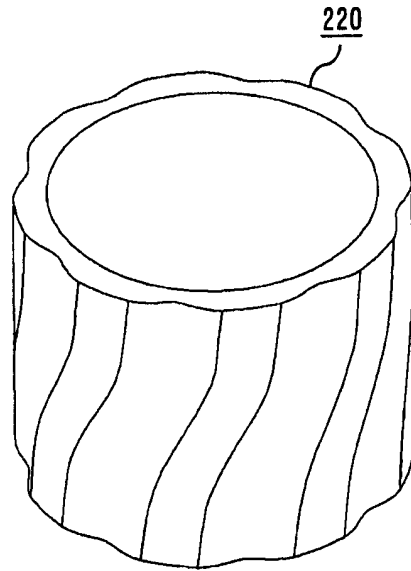


图 23

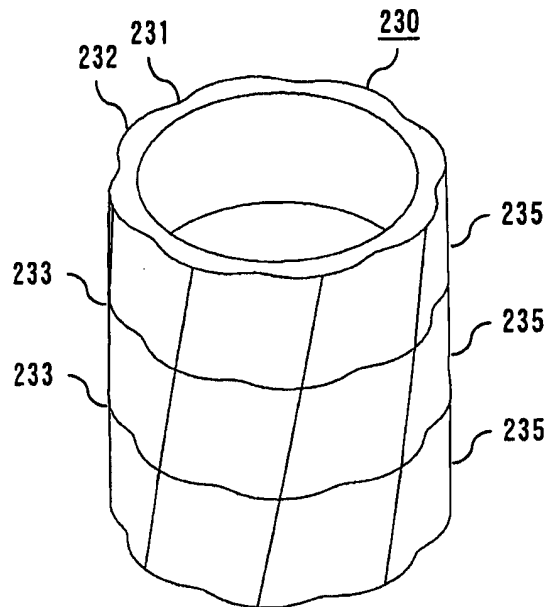


图 24

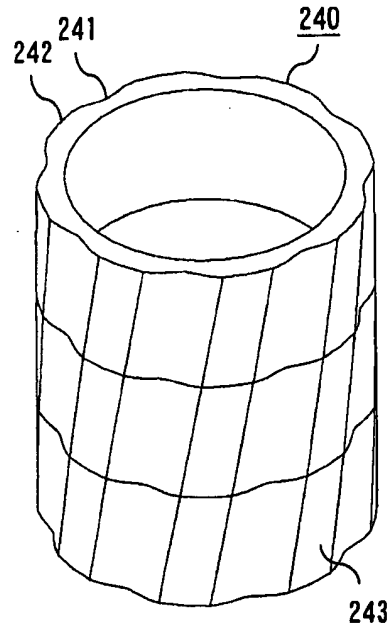


图 25

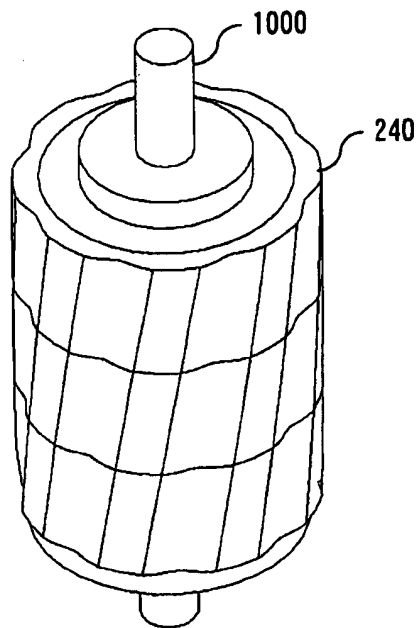


图 26

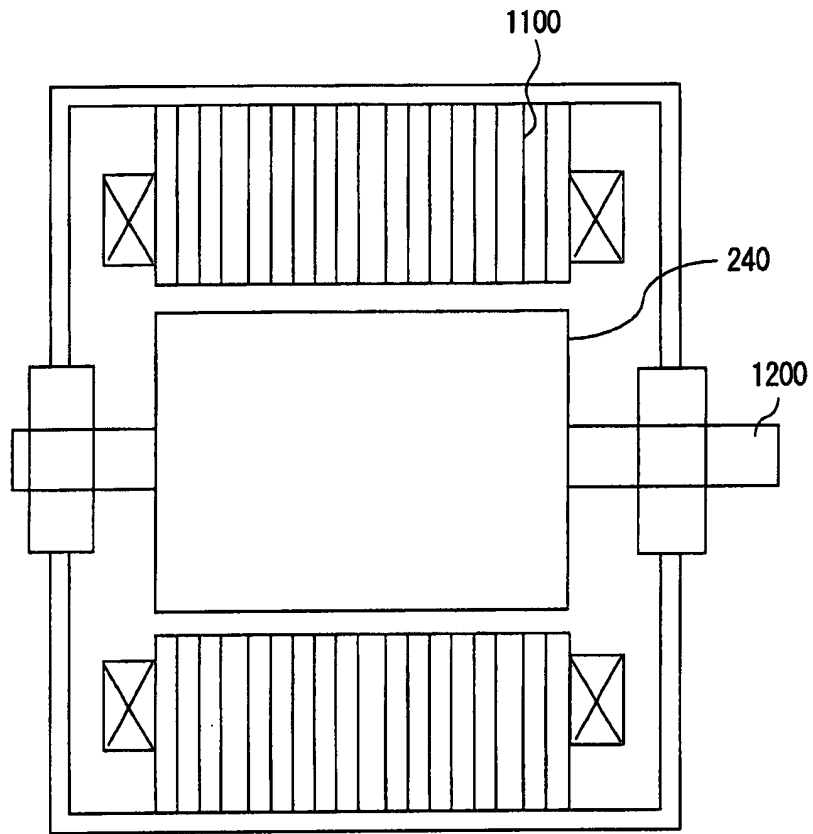


图 27

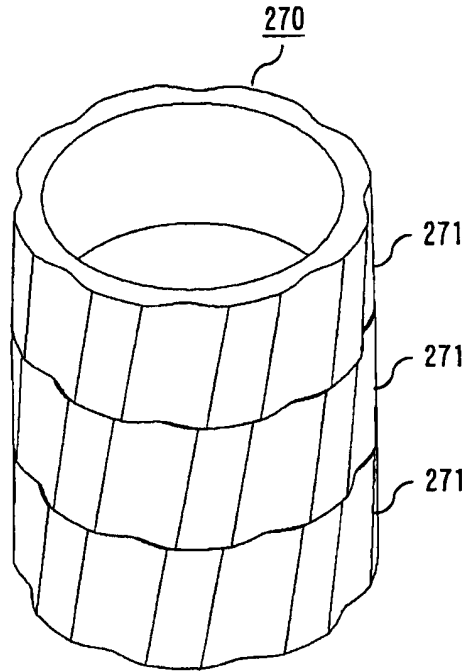


图 28

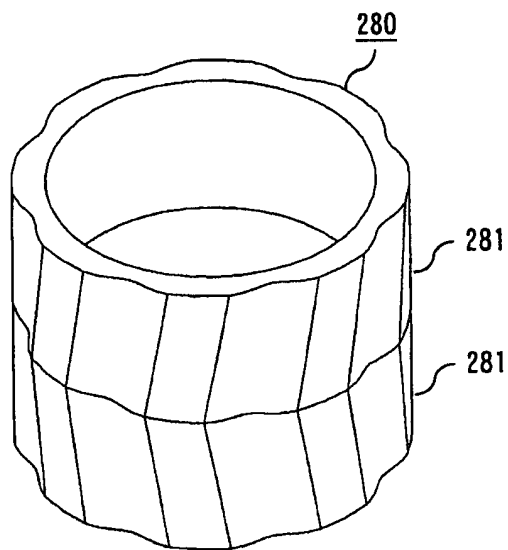


图 29

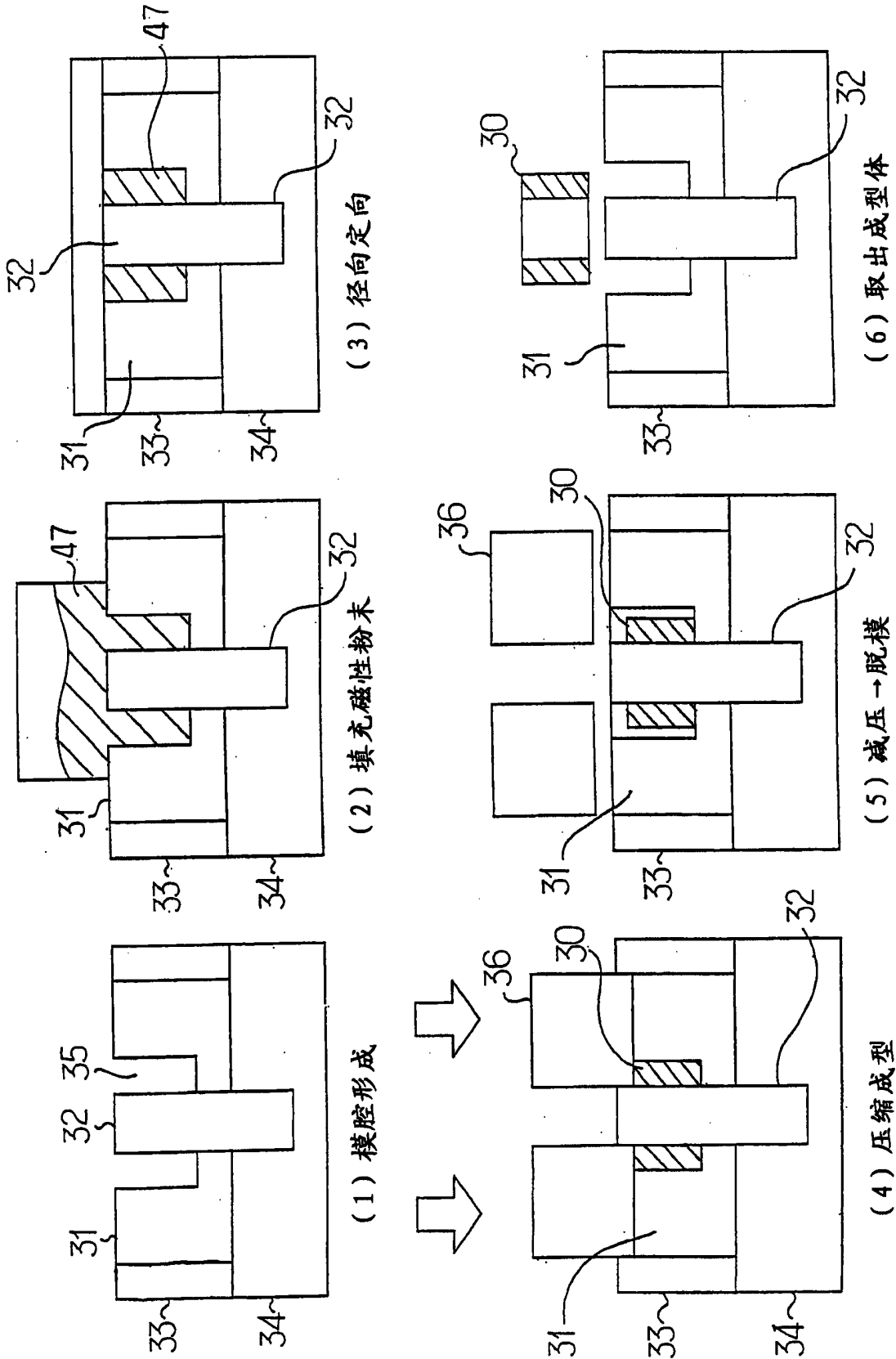


图 30

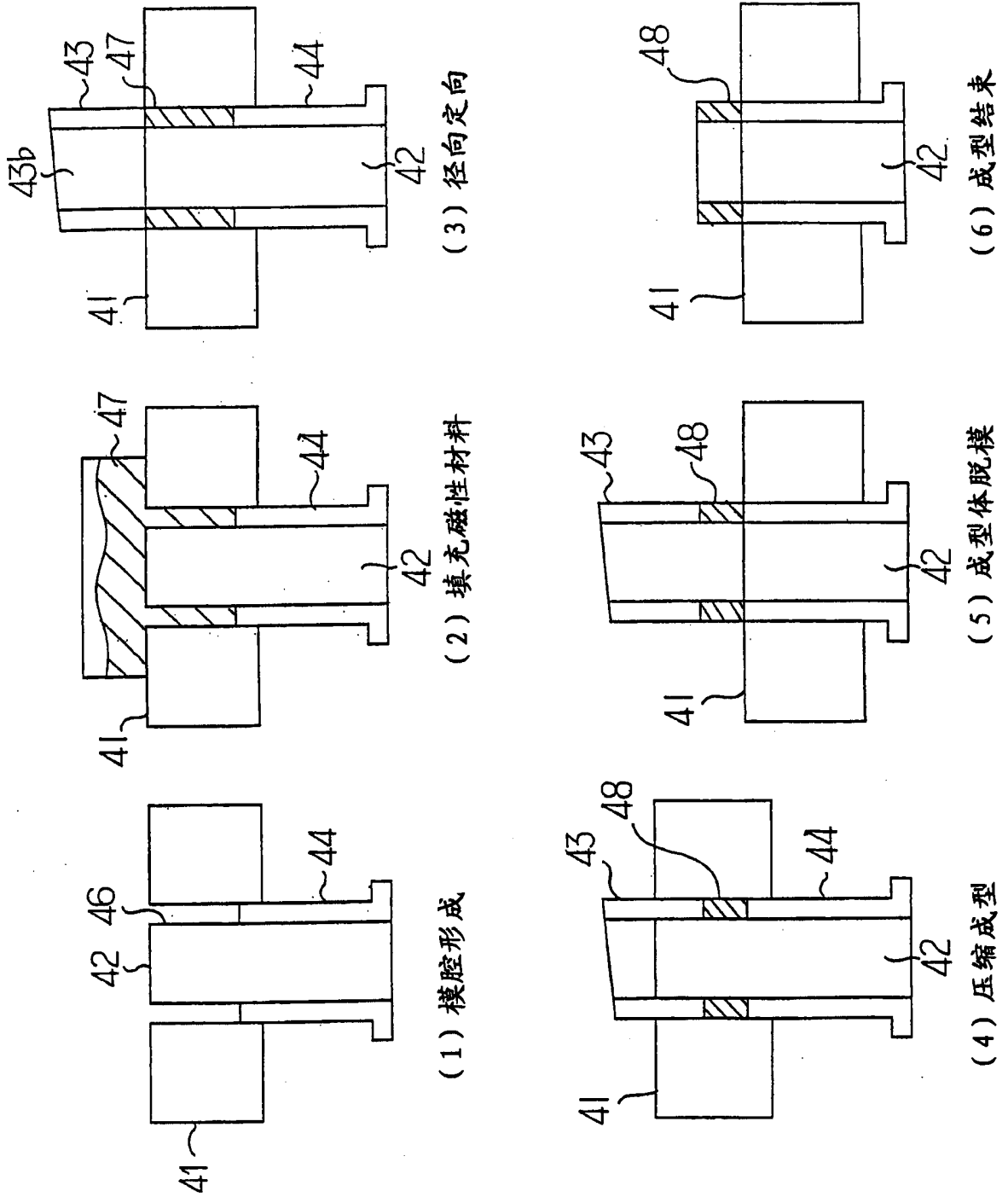


图 31

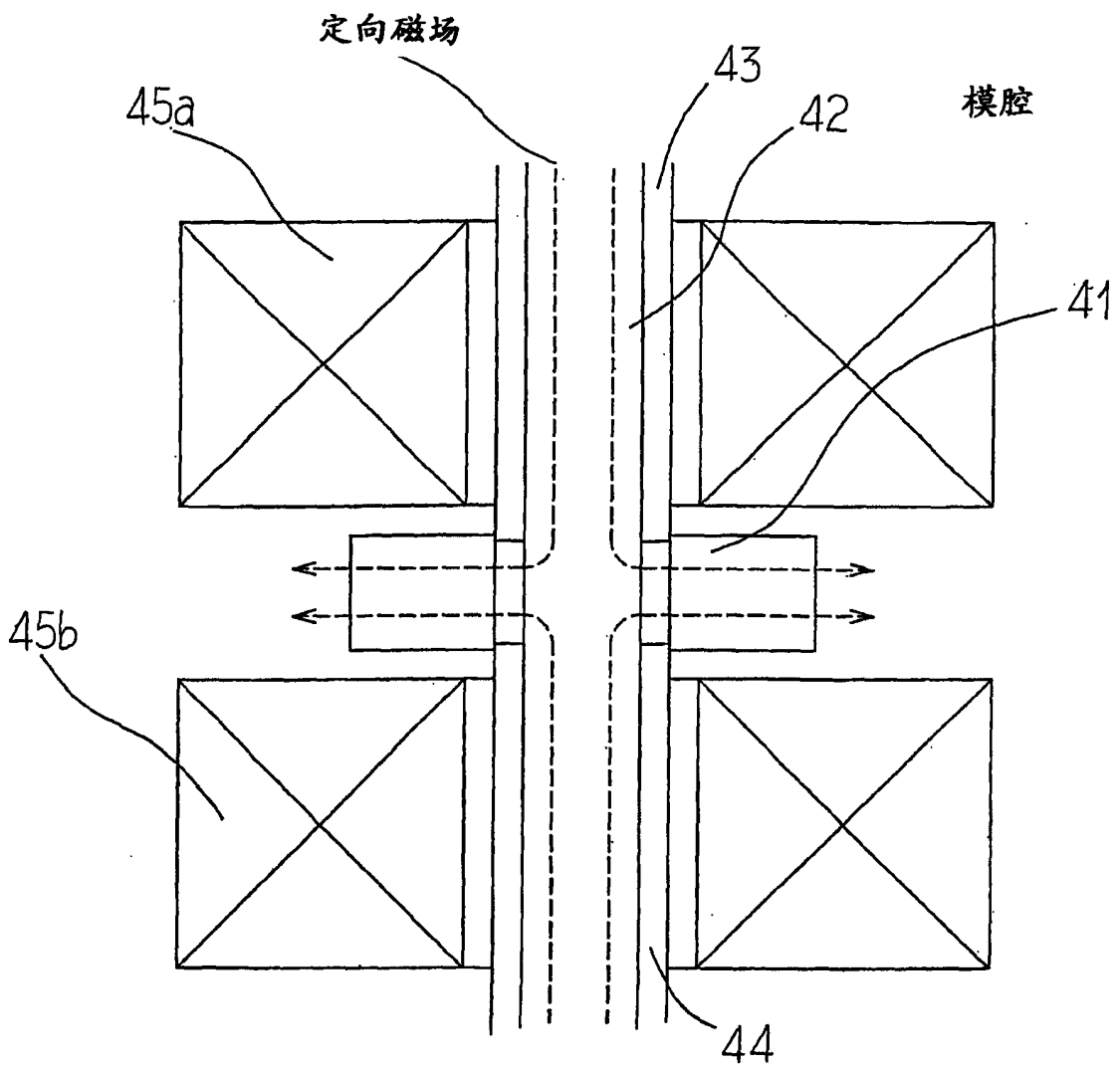


图 32

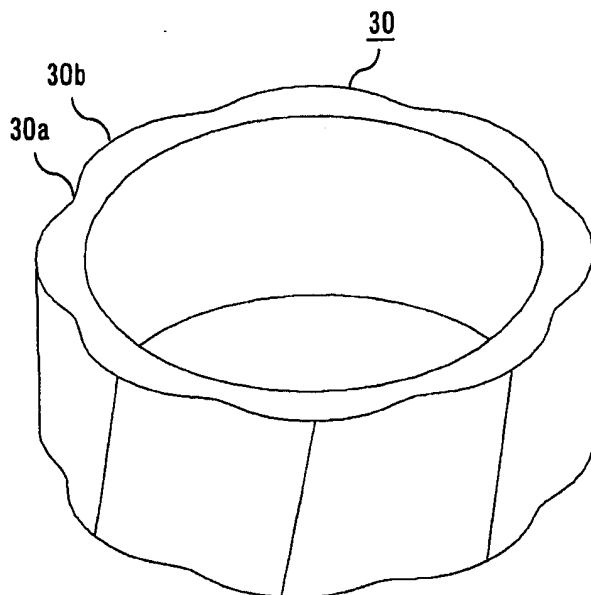


图 33

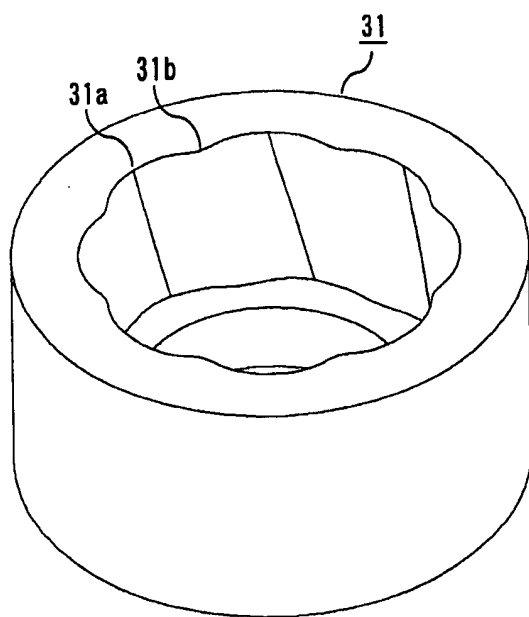


图 34

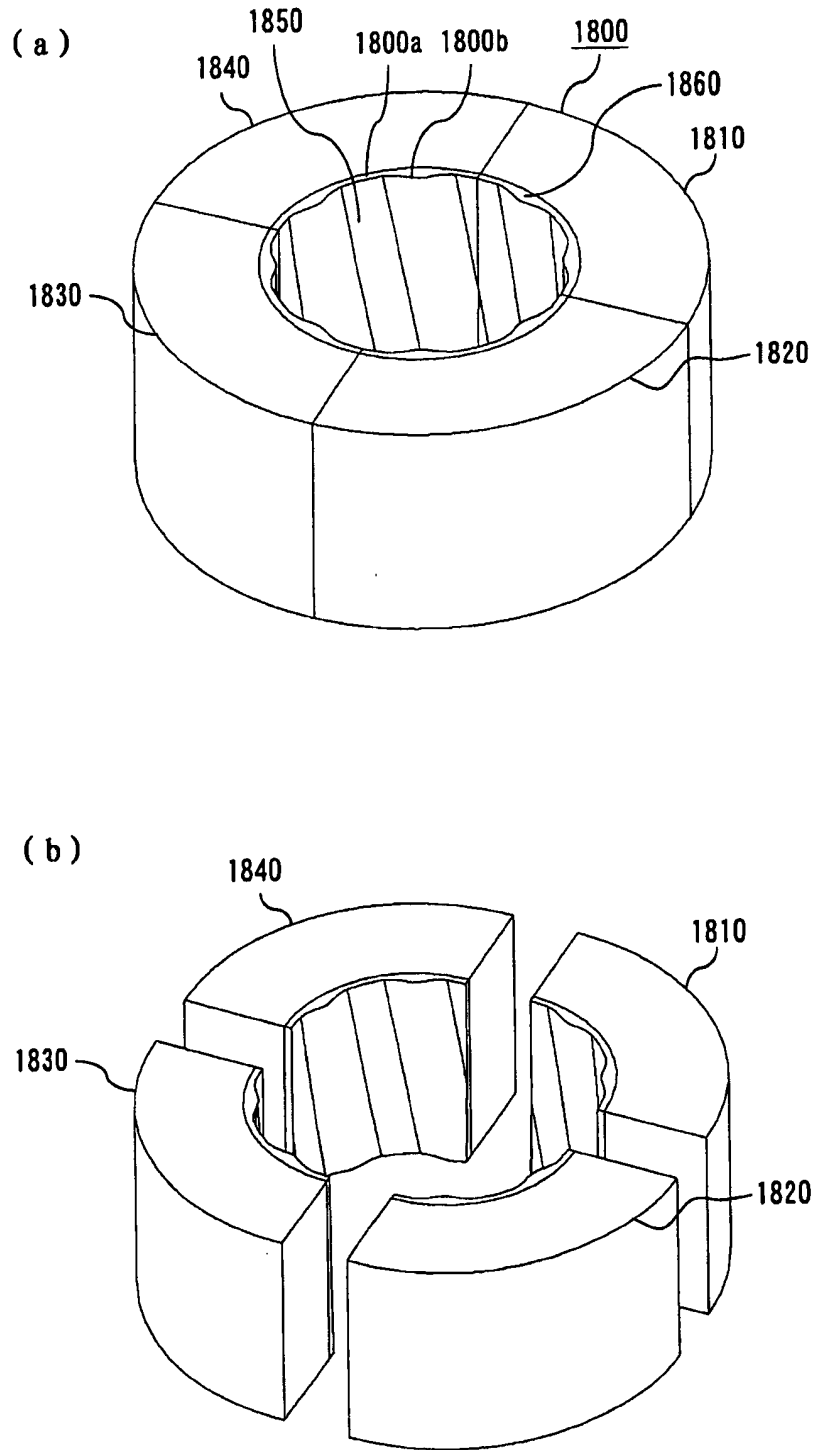


图 35

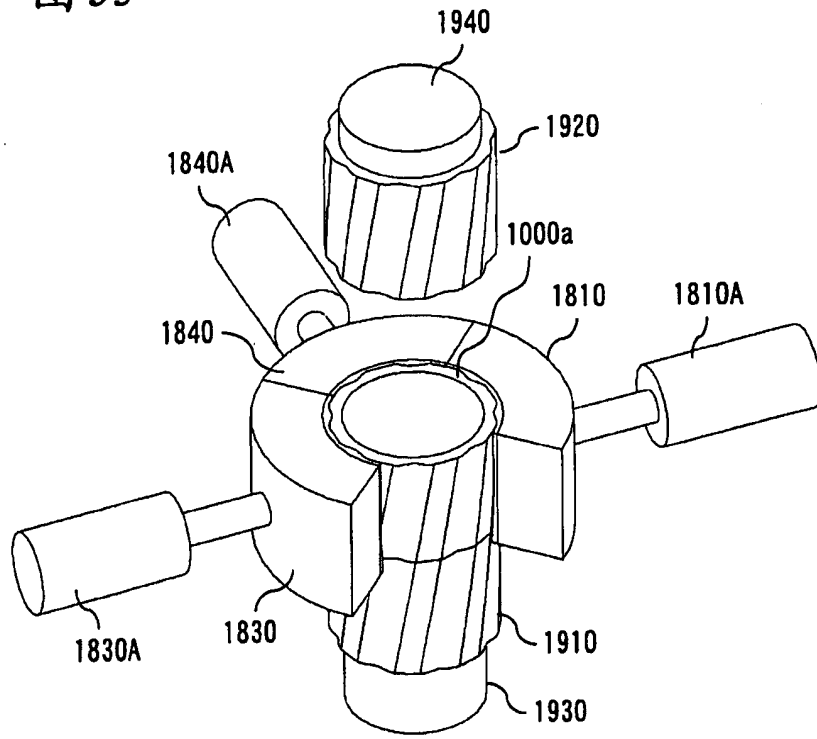


图 36

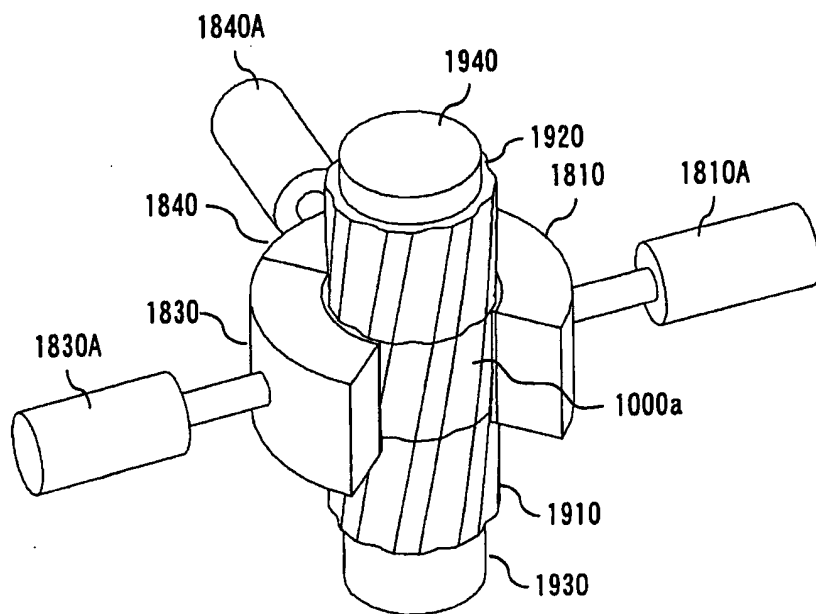


图 37

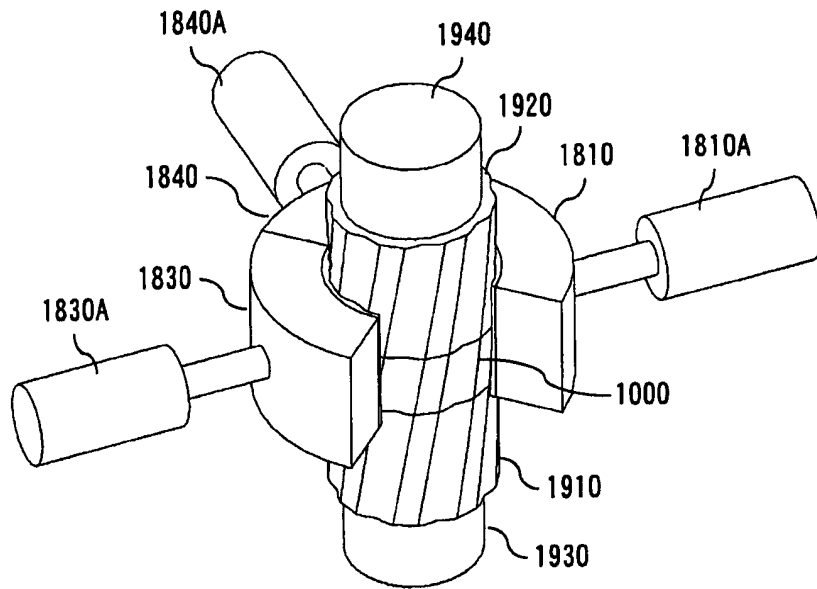


图 38

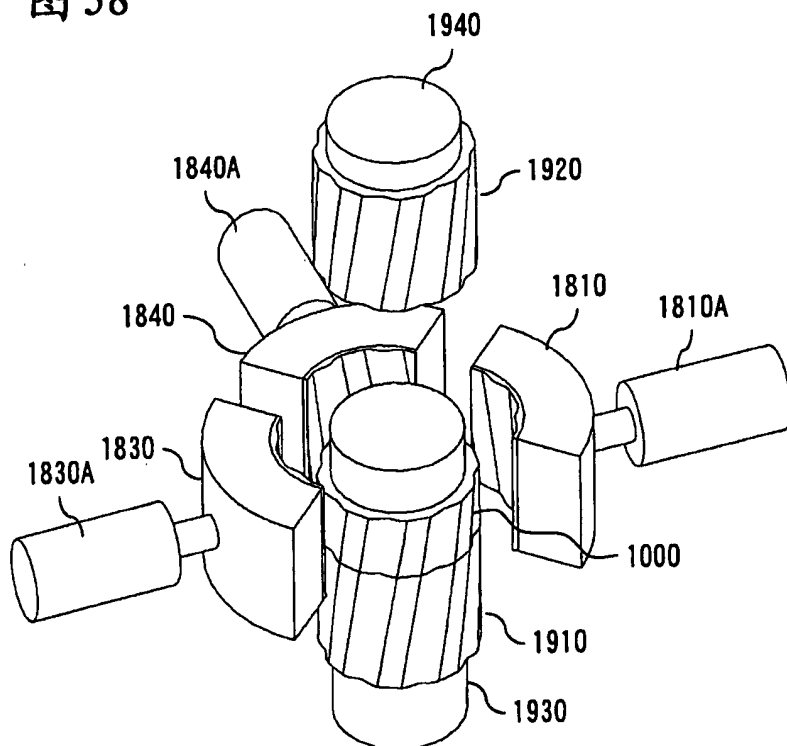


图 39

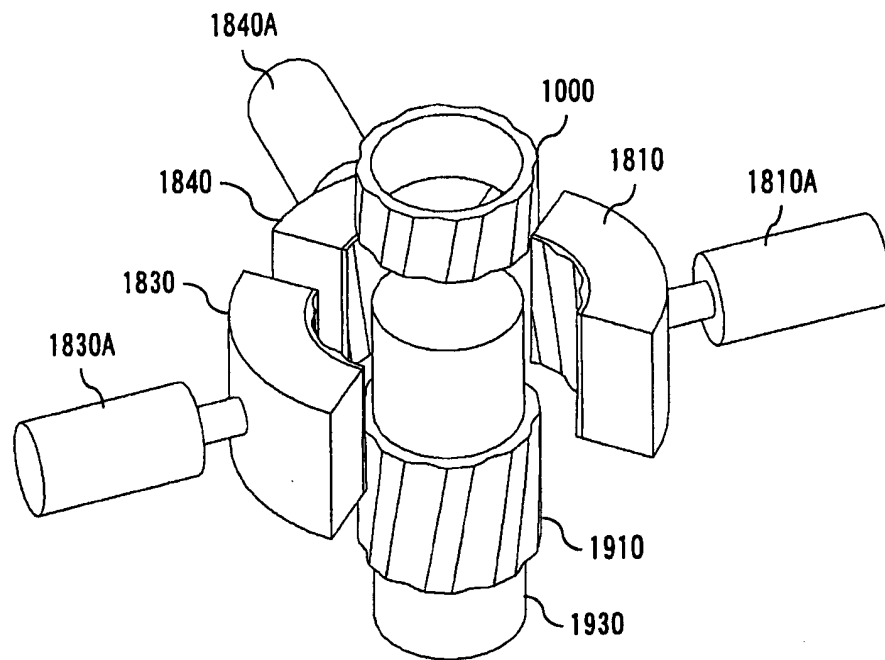


图 40

