

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810087907.0

[51] Int. Cl.

H01F 1/20 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

B22F 1/00 (2006.01)

[43] 公开日 2008年11月5日

[11] 公开号 CN 101299367A

[22] 申请日 2008.3.19

[21] 申请号 200810087907.0

[30] 优先权

[32] 2007.3.19 [33] JP [31] 2007-070878

[71] 申请人 日立粉末冶金株式会社

地址 日本松户市

共同申请人 株式会社电装

[72] 发明人 石原千生 浅香一夫 村松康平

赤尾刚 滨松宏武

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 孙秀武 李平英

权利要求书 1 页 说明书 14 页

[54] 发明名称

压粉磁芯的制造方法

[57] 摘要

在含有软磁性粉末和树脂粉末的压粉磁芯的制造方法中,使用中位径 $30\mu\text{m}$ 以下、且最大粒径 $100\mu\text{m}$ 以下、同时比表面积 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的粉末作为树脂粉末。

1. 压粉磁芯的制造方法,其为使用含有软磁性粉末和树脂粉末的混合粉末,将混合粉末压粉成形和加热成规定形状的压粉磁芯制造方法,其特征在于,所述树脂粉末为中位径 $30\mu\text{m}$ 以下、且最大粒径 $100\mu\text{m}$ 以下、同时比表面积 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的粉末,其添加量为 $0.005\sim 2$ 体积%。

2. 权利要求1所述的压粉磁芯的制造方法,其中,所述树脂粉末为比表面积 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的粉末。

压粉磁芯的制造方法

技术领域

本发明提供用于必需更高磁通量密度的发动机用铁心、普通家电、产业机器用发动机的叶轮或磁轭、以及柴油发动机和汽油发动机的组装机于电子控制式燃料喷射装置的电磁阀用螺线管芯（固定铁心）等中优选的压粉磁芯的制造技术。

背景技术

在各种传动器用磁心所用的磁心中极为重要的铁损是通过与磁心固有电阻值密切相关的涡电损耗、受到软磁性粉末制造工序及之后的程序过程所产生的软磁性粉末内变形之影响的磁滞损耗所规定的。该铁损 W 具体如下式（1）所示，通过涡电损耗 W_e 和磁滞损耗 W_h 之和表示。式（1）中，加号（+）的前部为涡电损耗 W_e 、后部为磁滞损耗 W_h 。予以说明， f 为频率数、 B_m 为激发磁通量密度、 ρ 为固有电阻值、 t 为材料的厚度、 k_1 、 k_2 为系数。

$$W=(k_1 B_m^2 t^2 / \rho) / f^2 + k_2 B_m^{1.6} f \quad (1)$$

由式（1）可知，磁滞损耗 W_h 与频率数 f 成正比，相反涡电损耗 W_e 与频率数 f 的平方成正比。因此，特别是为了在高频率区域内减小铁损 W ，降低涡电损耗 W_e 是有效的。为了降低涡电损耗 W_e 、为了将涡电流封闭在小区域内，有必要提高固有电阻值 ρ 。在此方面，使用粉末的压粉磁芯例如具有如下特征：可以在铁粉等粉末粒子之间存在非磁性的树脂，由此可以提高固有电阻值 ρ 、减小涡电损耗 W_e 。因此，以往提出了使用混合有软磁性粉末和树脂粉末的混合粉末、实施压粉成形和加热的压粉磁芯的制造技术（例如参照日本特开 2002-246219 号公报）。日本特开 2002-246219 号公报所记载的压粉磁芯由于树脂存在于软磁性粉末之间，因此特别确保了软磁性粉末间的绝缘性、降低涡电损耗 W_e ，同时牢固地粘合软磁性粉末，提高压粉磁芯的强度。

这种压粉磁芯由于制造方法简单，因此一直以来被广泛使用。但是，

当在高频率区域使用上述压粉磁芯时，绝缘性变得不充分，固有电阻值 ρ 降低、涡电损耗 W_e 增大。涡电损耗 W_e 的增大会造成发热，粘合有软磁性粉末的树脂恶化，因此具有不能确保压粉磁芯的充分寿命的缺点。与此相对，为了提高绝缘性增加树脂量时，由于磁心中所占软磁性粉末的量（占有率）降低，因此具有磁通量密度降低的缺点。

另外，在螺线管或发动机等电磁传动器中也使用压粉磁芯。柴油发动机的燃料喷射装置中使用的电磁阀要求较高的吸引力和较高的应答性，在使用有压粉磁芯的定子芯材料中除了期待高磁通量密度，还期待高透磁率和高频率区域的涡电损耗 W_e 小。这种螺线管芯为将铁粉和树脂粉末的混合物成形而成的压粉磁芯，为了提高磁通量密度、减小铁损，要求高密度、铁粉之间的绝缘性良好。

另一方面，各种发动机要求小型化、高效率化，使用有压粉磁芯的叶轮和定子材料也期待高磁通量密度且高频率区域的涡电损耗 W_e 小。即，对各种电磁传动器中所用压粉磁芯的要求特性与变压器用磁心所要求的特性（特别是铁损）本质上相同。但与变压器用磁心相比，传动器用磁心由于较高吸引力、吸附力是必要的，因此要求较高的磁通量密度。

为了获得高磁通量密度的压粉磁芯，高密度是必要的，有必要为制造一般烧结合金时的 2 倍以上的成形压力。在形状复杂的薄肉形状的压粉磁芯中，产生成形模具的持久性问题。因此，在制成螺线管芯等形状时，对压粉成形为单纯的圆筒状或圆柱状的压粉磁芯切削加工制成规定形状和尺寸，或者成形为近似制品形状的材料、特别对要求尺寸精度的部分进行切削加工而完成。因此，压粉磁芯也要求是切削性良好、切削工具的磨耗少、切削时不会产生断裂或缺陷的材料。

鉴于上述事实，为了共同实现涡电损耗 W_e 的降低和磁通量密度 B 的提高，提出了通过在软磁性粉末表面上预先形成绝缘性覆膜，确保软磁性粉末间的绝缘性，降低涡电损耗 W_e 的各种方法（例如参照日本特开 2002-246219 号公报、日本专利第 3421944 号公报、日本特开平 11-251131 号公报、日本特开 2004-146804 号公报）。

由于压粉磁芯的磁通量密度依赖于材料的密度，因此在铁粉中使用获得更高密度的粉化铁粉，为了减少压粉磁芯的铁损，在该铁粉的表面上施以磷酸化合物的覆膜。另外，作为与铁粉混合的树脂粉末提出了使用苯酚、聚酰胺、环氧、聚酰亚胺、聚苯硫醚等树脂。例如，日本特开

2002-246219 号公报公开了在磷酸覆膜处理粉化铁粉中添加有 0.15~1 质量%的聚苯硫醚、热固化性聚酰亚胺等树脂的压粉磁芯，日本专利第 3421944 号公报公开了在磷酸覆膜处理粉化铁粉中添加有 2 质量%热固化性聚酰亚胺树脂的压粉磁芯。另外，日本特开平 11-251131 号公报公开了固有电阻值 ρ 为 $2\Omega\text{cm}$ 以上，铁损 W 保持一定，以及为了满足该固有电阻值使磷酸覆膜的膜厚为 10nm 以上、100nm 以下。而且，日本特开 2004-146804 号公报公开了如果使用中位径小（中位径为 $30\mu\text{m}$ 以下）的树脂粉末，树脂粉末在软磁性粉末间的存在确率增高，加热后，获得树脂均匀地存在于软磁性粉末之间的压粉磁芯，即便将树脂粉末的添加量降低至 0.01~5 体积%提高磁通量密度 B ，也可以获得涡电损耗 W_e 。充分降低的压粉磁芯。

如此，在近年的压粉磁芯中，期待在提高绝缘性、抑制涡电损耗 W_e 的同时，减少树脂添加量、提高磁通量密度，拓宽其适用范围，但在抑制涡电损耗 W_e 的状态下更加提高磁通量密度的压粉磁芯。

发明内容

本发明鉴于上述事实而完成，其目的在于，通过使树脂更加均匀地存在于软磁性粉末间，在实现提高绝缘性、减少高频率区域的涡电损耗 W_e 和由此引起的发热、实现磁心的长寿命化和使用压粉磁芯的制品高性能化的同时，通过薄化均匀存在于软磁性粉末间的树脂，从而确保充分的磁通量密度，提供实现了使用压粉磁芯的制品的高性能性的压粉磁芯的制造方法。

本发明人等为了解决上述课题，根据日本特开 2004-146804 号公报的技术进行了深入研究，结果发现，着眼于树脂粉末的形状、使用不规则形状的树脂粉末时，与使用通常树脂粉末时相比，即便减少其添加量，也可以获得同等的涡电损耗 W_e 。根据该发现，在比表面积的观点上，对不规则形状的程度进行反复研究，达成本发明。

即，本发明的压粉磁芯的制造方法为使用含有软磁性粉末和树脂粉末的混合粉末，将混合粉末压粉成形和加热至所需形状的压粉磁芯的制造方法，其特征在于，树脂粉末为中位径 $30\mu\text{m}$ 以下、且最大粒径 $100\mu\text{m}$ 以下，同时比表面积为 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的粉末，其添加量为 0.005~2 体积%，优选所述树脂粉末为比表面积 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的粉末。

使所用树脂粉末的粒径为中位径（相对于累积分布的 50%的粒径） $30\mu\text{m}$ 的理由如日本特开 2004-146804 号公报所述，为了在进行压粉成形时使树脂粉末均匀地分散在软磁性粉末中，加热后使树脂均匀地存在于软磁性粉末之间，有必要使用中位径为 $30\mu\text{m}$ 以下的粉末。另一方面，当超过该数值时，在进行压粉成形时难以使树脂粉末均匀地分散在软磁性粉末中。结果，树脂易于遍布在压粉磁芯中，比电阻降低、绝缘性开始降低。

另外，即便是中位径为 $30\mu\text{m}$ 以下的树脂粉末，当含有粗大树树脂粉末时，该部分与微粉凝聚时相同，其它部分的树脂量减少，结果绝缘性降低，同时仅粗大树树脂粉末部分软磁性粉末的占据率降低，磁通量密度降低。因此，有必要的是树脂粉末的最大粒径为 $100\mu\text{m}$ 以下、更优选为 $50\mu\text{m}$ 以下。

为了使这种粒径范围的树脂粉末的比表面积为 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上，可以将用于获得目标铁损 W （涡电损耗 W_e ）的树脂粉末的添加量减少至 $0.005 \sim 2$ 体积%。即，一般的树脂粉末由于其制造方法为略球状，比表面积为 $0.1 \sim 0.3\text{m}^2/\text{cm}^3$ 左右。本发明的比表面积为 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的树脂粉末可以将具有这种比表面积的树脂粉末中粒径大者进行喷射式磨机粉碎或冷冻粉碎等强行粉碎而获得。将这种树脂粉碎粉分级，将树脂粉末的粒径调整到上述范围内使用。

予以说明，本发明树脂粉末添加量范围的一部分与日本特开平 11-251131 号公报的树脂添加量范围的一部分重叠，但树脂粉末的添加量相同时，使用本发明比表面积 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的树脂粉末的压粉磁芯的绝缘性更高，可以制成铁损 W （涡电损耗 W_e ）进一步被抑制的压粉磁芯。

本发明中，并非必须在日本专利第 3421944 号公报的软磁性粉末表面上形成绝缘覆膜，但在软磁性粉末表面上形成绝缘覆膜等时，通过确保更高水平的绝缘性、所用树脂量的减少所产生的磁通量密度进一步上升，可以提供特性进一步被改善的压粉磁芯。

利用本发明制造方法制造的压粉磁芯使用比表面积 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的树脂粉末，以少于以往的树脂量即可使树脂均匀且薄薄地存在于软磁性粉末之间，在降低高频率区域内的涡电损耗 W_e 和由此引起的放热、实现磁心的长寿命化的同时，可以实现使用获得更高磁通量密度的磁心

的制品的高性能化。

实施例

[第 1 实施例]

准备市售的（热塑性或热固化性）聚酰亚胺粉末（比表面积： $0.3 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ ）作为树脂粉末。另外，改变粉碎条件准备比表面积改变至 $0.5 \sim 5 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ 、同时将中位径调整至 $5 \sim 30 \mu\text{m}$ （热塑性或热固化性）的聚酰亚胺粉末。

另外准备 0.3 体积%这些（热塑性或热固化性）聚酰亚胺粉末，添加、混合在另外准备的于纯铁粉末的表面上形成有磷酸盐化学转换处理绝缘覆膜的绝缘处理铁粉中，获得原料粉末，在成形压力： 1470 MPa 下对所得原料粉末进行压粉成形，达到内径 20 mm 、外径 30 mm 、高度 5 mm 的环形状，之后在 360°C 下进行加热处理 1 小时，制作表 1 所示试样编号 01~21 的试样。

对于这些试样，在磁力 10000 A/m 下测定磁通量速度 $B_{10000 \text{ A/m}}$ (T) 作为直流磁特性，在频率 5 kHz 、激发磁通量密度 0.25 T 的条件下测定磁滞损耗 W_h 、涡电损耗 W_e 和铁损 W 的各种磁特性作为交流磁特性。另外，用 #800 的砂纸研磨试验片表面，通过四探针法测定研磨面的固有电阻值 ρ 作为电特性。将这些结果示于表 2 中。

表 1

试样 序号	比表面积 (m^2/cm^3)	中位径 (μm)	最大 粒径 (μm)	添加量 (体积%)	备注
01	0.3	30.0	110	0.3	以往例
02	0.5	25.0	90	0.3	比表面积下限以外
03	1.0	8.3	50	0.3	比表面积下限
04	1.5	5.0	16	0.3	
05	2.0	3.5	15	0.3	
06	3.0	2.5	10	0.3	
07	5.0	2.0	5	0.3	

表 2

试 样 序 号	磁滞 损耗 W_h (KW/m^3)	涡电 损耗 W_e (KW/m^3)	铁 损 W (KW/m^3)	磁通量 密度 $B_{10000\Delta/\text{m}}$ (T)	固有 电阻值 P ($\mu\Omega\text{cm}$)	备注
01	630	9000	9630	1.87	1000	以往例
02	630	7000	7630	1.87	1500	比表面 积下限 以外
03	630	3500	4130	1.86	3000	比表面 积下限
04	625	2800	3425	1.86	4000	
05	625	2500	3125	1.85	4800	
06	620	2400	3020	1.84	7500	
07	620	2200	2820	1.84	9000	

由表 1 和表 2 的试样序号 01~07 的试样可知, 比表面积和固有电阻值 ρ 具有比例关系, 树脂粉末的比表面积越大, 则固有电阻值 ρ 越大。另一方面, 涡电损耗 W_e 在比表面积 $0.3\text{m}^2/\text{cm}^3$ 的试样序号 01 中大, 铁损 W 也很大。而树脂粉末的比表面积增大时, 则涡电损耗 W_e 降低、铁损 W 也被抑制, 在比表面积 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 的试样序号 03 中铁损 W 减小至 $4130\text{kW}/\text{cm}^3$, 被抑制至试样序号 01 的铁损 W 的 1/2 左右。另外, 在比表面积为 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上时, 涡电损耗 W_e 基本达到一定值, 因此, 铁损 W 也被抑制为基本一定的稳定值。该比表面积和铁损 W (涡电损耗 W_e) 的关系在固有电阻值 ρ 降低至一定值时, 铁损 W 会急剧地增加, 这在日本特开平 11-251131 号公报有所公开, 为了将铁损 W 降低至以往的 1/2, 将比表面积为 $1.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上 (权利要求 1) 时有效, 优选使比表面积为 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上 (权利要求 2), 从而可以降低铁损 (涡电损耗 W_e) 且抑制在一定值。

另一方面, 磁通量速度 $B_{10000\text{A}/\text{m}}$ 随着比表面积增大有若干降低的倾向, 但树脂粉末的比表面积为 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上时为基本一定的值。前者的理由认为是由于树脂粉末的形状与略球状的情况相比成为不规则形状, 体积密度增加, 结果软磁性粉末间的距离增大, 从而导致的。该软磁性粉末间的距离增加认为是上述固有电阻值 ρ 提高、即铁损 W (涡电损耗 W_e) 降低和磁通量密度 $B_{10000\text{A}/\text{m}}$ 减少的原因。另一方面, 即便树脂粉末的不规则形状的程度增大, 由于压粉成形时的压力树脂粉末的角部被压缩, 软磁性粉末间的距离不会增加到一定程度以上, 因此树脂粉末的比表面积为 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上时磁通量密度达到基本一定的值。该树脂粉末成为不规则形状所导致的磁通量密度的降低不过是很微量的水平, 对树脂粉末添加量的影响大于对磁通量密度的影响, 因此通过使上述比表面积为 $1.5\text{m}^2/\text{cm}^3$ 以上的范围, 可以获得铁损 W 和磁通量密度 $B_{10000\text{A}/\text{m}}$ 稳定的压粉磁芯。

[第 2 实施例]

对于第 1 实施例的比表面积为 $2.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 的 (热塑性或热固化性) 聚酰亚胺粉末, 准备将中位径改变为 $2\sim 100\mu\text{m}$ 而制备的粉末。将这些树脂粉末以 0.1 体积%添加、混合在第 1 实施例中使用的软磁性粉末中, 获得原料粉末, 使用该原料粉末在与第 1 实施例相同的条件下制作试样, 获得表 3 所示的试样序号 08~12 的试样。对于这些试样, 在与第 1 实

施例相同的条件下调查直流磁特性、交流磁特性和电特性。将其结果示于表4。予以说明，表3和表4一并显示第1实施例的试样序号05的试样的结果。

表3

试样 序号	比表面积 (m^2/cm^3)	中位径 (μm)	最大 粒径 (μm)	添加量 (体积%)	备注
08	2.0	2.0	35	0.3	
09	2.0	2.5	30	0.3	
10	2.0	3.0	20	0.3	
05	2.0	3.5	15	0.3	
11	2.0	30.0	50	0.3	中位径上限
12	2.0	60.0	70	0.3	中位径上限以 外

表 4

试样序号	磁滞损耗 W_h (KW/m ³)	涡电损耗 W_e (KW/m ³)	铁损 W (KW/m ³)	磁通量密度 $B_{10000A/m}$ (T)	固有电阻值 P ($\mu \Omega$ cm)	备注
08	630	2400	3030	1.85	4900	
09	625	2450	3075	1.85	4850	
10	630	2480	3110	1.85	4830	
05	625	2500	3125	1.85	4800	
11	630	3200	3830	1.85	3000	中位径 上限
12	645	9100	9745	1.84	1500	中位径 上限以 外

由表 3 和表 4 的试样序号 05、08~12 的试样可知，中位径越小则涡电损耗 W_e 的值越小，铁损 W 被抑制，当使用中位径为 $30\mu\text{m}$ 以下的树脂粉末时，可获得铁损 W 为 4000kW/mn 以下的优异压粉磁芯。

[第 3 实施例]

对于第 1 实施例的比表面积为 $2.0\text{m}^2/\text{cm}^3$ 的（热塑性或热固化性）聚酰亚胺粉末，准备使中位径为 $3.5\mu\text{m}$ 、最大粒径变化至 $15\sim 150\mu\text{m}$ 的粉末。将这些树脂粉末以 0.3 体积%添加、混合在第 1 实施例中使用的软磁性粉末中，获得原料粉末，使用该原料粉末在与第 1 实施例相同的条件下制作试样，获得表 5 所示试样序号 13~15 的试样。对于这些试样，在与第 1 实施例相同的条件下调查直流磁特性、交流磁特性和电特性。将其结果示于表 6。予以说明，表 5 和表 6 一并显示第 1 实施例的试样序号 05 的试样的结果。

表 5

试样 序号	比表面积 (m^2/cm^3)	中位径 (μm)	最大 粒径 (μm)	添加量 (体积%)	备注
05	2.0	3.5	15	0.3	
13	2.0	3.5	50	0.3	
14	2.0	3.5	100	0.3	中位径上限
15	2.0	3.5	150	0.3	中位径上限以 外

表 6

试 样 序 号	磁滞 损耗 W_h (KW/m^3)	涡电 损耗 W_e (KW/m^3)	铁 损 W (KW/m^3)	磁通量 密度 $B_{10000\text{A}/\text{m}}$ (T)	固有 电阻值 P ($\mu\Omega\text{cm}$)	备注
05	625	2500	3125	1.85	4800	
13	630	2800	3430	1.86	3500	
14	640	3400	4040	1.86	3000	中位径上 限
15	645	8800	9445	1.87	1800	中位径上 限以外

由表 5 和表 6 的试样序号 05、13~15 的试样可知，即便中位径相同，在含有最大粒径为 $100\mu\text{m}$ 的粗大树树脂粉末的试样序号 15 的试样中，软磁性粉末间的树脂粉末的存在确率降低，结果绝缘性降低、固有电阻值 ρ 降低，结果涡电损耗 W_e 增加、铁损 W 增加。另一方面，含有最大粒径为 $100\mu\text{m}$ 以下的树脂粉末的试样序号 13 和 14 的试样中，与最大粒径调整为 $15\mu\text{m}$ 的试样序号 05 的试样相比，会产生上述固有电阻值 ρ 降低、涡电损耗 W_e 增加、铁损 W 增加的倾向，但含有最大粒径超过 $100\mu\text{m}$ 的树脂粉末的试样序号 15 的试样并无较大值的变动。因此，树

脂粉末的最大粒径可以调整至 100 μm 以下、更优选调整至 50 μm 以下。

[第 4 实施例]

对于第 1 实施例的比表面积为 2.0 m^2/cm^3 的（热塑性或热固化性）聚酰亚胺粉末，准备使中位径为 3.5 μm 、最大粒径调整至 15 μm 的粉末。将添加量改变为 0.005 ~ 5 体积% 添加混合于第 1 实施例中使用的软磁性粉末中，获得原料粉末，使用这些原料粉末，在与第 1 实施例相同的条件下制作试样，获得表 7 所示试样序号 16 ~ 25 的试样。另外，为了比较，以往例对第 1 实施例的比表面积为 0.3 m^2/cm^3 的（热塑性或热固化性）聚酰亚胺粉末，也同样地将中位径调整至 30 μm 、最大粒径调整至 100 μm ，同时将添加量改变为 0.005 ~ 5 体积%，添加于软磁性粉末，制作试样（试样序号 26 ~ 35）。对于这些试样，在与第 1 实施例相同的条件下调查直流磁特性、交流磁特性和电特性。将其结果示于表 8。予以说明，表 7 和表 8 一并显示第 1 实施例的试样序号 01 和 05 的试样的结果。

表 7

试样序号	比表面积 (m^2/cm^3)	中位径 (μm)	最大粒径 (μm)	添加量 (体积%)	备注
16	2.0	3.5	15	0.005	添加量下限
17	2.0	3.5	15	0.01	
18	2.0	3.5	15	0.05	
19	2.0	3.5	15	0.1	
20	2.0	3.5	15	0.2	
05	2.0	3.5	15	0.3	
21	2.0	3.5	15	0.5	
22	2.0	3.5	15	1.0	
23	2.0	3.5	15	1.5	
24	2.0	3.5	15	2.0	添加量上限
25	2.0	3.5	15	5.0	添加量上限以外

26	0.3	30.0	100	0.005	以往例
27	0.3	30.0	100	0.01	以往例
28	0.3	30.0	100	0.05	以往例
29	0.3	30.0	100	0.1	以往例
30	0.3	30.0	100	0.2	以往例
01	0.3	30.0	110	0.3	以往例
31	0.3	30.0	100	0.5	以往例
32	0.3	30.0	100	1.0	以往例
33	0.3	30.0	100	1.5	以往例
34	0.3	30.0	100	2.0	以往例
35	0.3	30.0	100	5.0	以往例

表 8

试样 序号	磁滞 损耗 W_h (KW/m ³)	涡电 损耗 W_e (KW/m ³)	铁 损 W (KW/m ³)	磁通量 密度 $B_{10000A/m}$ (T)	固有 电阻值 P ($\mu\Omega$ cm)	备注
16	620	3500	4120	1.87	3000	添加量下 限
17	625	2800	3425	1.87	4300	
18	620	2700	3320	1.86	4500	
19	625	2600	3225	1.85	4600	
20	625	2550	3175	1.85	4700	
05	625	2500	3125	1.85	4800	
21	630	2400	3030	1.84	5600	
22	635	2410	3045	1.83	5900	
23	640	2400	3040	1.82	7000	
24	650	2390	3040	1.80	10000	添加量上 限

25	670	2380	3050	1.65	24000	添加量上限以外
26	630	17000	17630	1.87	500	以往例
27	625	13500	14125	1.87	600	以往例
28	628	11200	11828	1.87	800	以往例
29	629	10000	10629	1.87	900	以往例
30	630	9300	9930	1.87	950	以往例
01	630	9000	9630	1.87	1000	以往例
31	630	8100	8730	1.85	1300	以往例
32	640	7200	7840	1.83	1500	以往例
33	650	6800	7450	1.80	1800	以往例
34	660	4300	4960	1.78	3000	以往例
35	670	3800	4470	1.62	4000	以往例

由表 7 和表 8 的试样序号 05、16~25 的试样（本发明例）和试样序号 01、26~35 的试样（以往例）可知，任何情况下，树脂粉末的添加量越少，则固有电阻值 ρ 越小，显示涡电损耗 W_e 大、且铁损 W 增大的倾向，树脂粉末的添加量越多则软磁性粉末的占据率降低，显示磁通量密度 $B_{10000A/m}$ 降低的倾向。树脂粉末的比表面积为 $2.0m^2/cm^3$ 的试样（本发明例）与树脂粉末的比表面积为 $0.3m^2/cm^3$ 的试样（以往例）相比，绝缘性增高，比较相同添加量的试样时，树脂粉末的比表面积为 $2.0m^2/cm^3$ 的试样（本发明例）的固有电阻值 ρ 显示更高的值，结果，涡电损耗 W_e 和铁损 W 被抑制。因此，树脂粉末的比表面积为 $0.3m^2/cm^3$ 的试样（以往例）中，在树脂粉末添加量为 0.005 体积%的试样（试样序号 26）中铁损 W 的增加显著，但即便是相同树脂粉末添加量为 0.005 体积%的情况下，树脂粉末的比表面积为 $2.0m^2/cm^3$ 的试样（试样序号 16）中，铁损 W 的增加并不过分，停留在可以充分使用的范围。但是，树脂粉末的比表面积为 $2.0m^2/cm^3$ 的试样的树脂粉末添加量超过 2 体积%的试样（试样序号 25）中，磁通量密度显著降低。

由此可知，当使用比表面积大的树脂粉末时，与使用以往比表面积小的树脂粉末的情况相比，在相同添加量下使用时，在将磁通量密度 B 确保在同等程度的同时提高绝缘性，获得铁损 W 低的压粉磁芯，当铁

消耗 W 的程度相同时，树脂粉末的添加量可以减少，可以获得提高磁通量密度 B 的压粉磁芯。