

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
H01F 1/057 (2006.01)



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710164576.1

[45] 授权公告日 2009年11月11日

[11] 授权公告号 CN 100559519C

[22] 申请日 2007.12.8

[21] 申请号 200710164576.1

[73] 专利权人 宁波科田磁业有限公司

地址 315034 浙江省宁波市慈城城西西路  
1号

[72] 发明人 王育平 郑敦敦

[56] 参考文献

CN101071667A 2007.11.14

JP63-226007A 1988.9.20

CN101016598A 2007.8.15

US20040079445A1 2004.4.29

JP63-86502A 1988.4.16

审查员 王光军

[74] 专利代理机构 宁波天一专利代理有限公司  
代理人 杨高

权利要求书1页 说明书7页

[54] 发明名称

用钽代替镨的烧结钕铁硼永磁材料

[57] 摘要

用钽代替镨钕铁硼永磁材料，其特征在于成分组成由  $[(28 \sim 40)\% - x]$  钕、 $(x - y)$  镨、 $y$  钽、 $(0.95 \sim 1.3)\%$  硼、 $(0 \sim 5)\%$  钆、 $(0.1 \sim 1.0)\%$  铈、 $(0.1 \sim 1.5)\%$  铝、 $(0.1 \sim 0.5)\%$  铜、 $(0 \sim 3)\%$  钴、 $(0.1 \sim 0.5)\%$  镓，其余为 Fe 和其他杂质及金属元素，其中  $x = (0.5 \sim 10)\%$ ， $y = (0.5 \sim 2.5)\%$ ， $x - y \geq 0$ ，上述为重量百分比。按照上述的组成成分采用重稀土金属钽代替或部分代替重稀土镨，用常规制造钕铁硼永磁材料的方法，制造出同样规格要求的烧结钕铁硼永磁合金，取得相同的测试结果，其中内禀矫顽力都大于 12 千奥斯特，达到采用镨的钕铁硼的磁性能，但原材料钽的价格仅为镨的三分之一，极大提高性能价格比，达到发明目的。提高了钕铁硼永磁体的市场竞争力。

1、用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征是成分组成由  $[(28\sim 40)\% - x]$  钕、 $(x-y)$  镨、 $y$  钆、 $(0.95\sim 1.3)\%$  硼、 $(0\sim 5)\%$  钆、 $(0.1\sim 1.0)\%$  铈、 $(0.1\sim 1.5)\%$  铝、 $(0.1\sim 0.5)\%$  铜、 $(0\sim 3)\%$  钴、 $(0.1\sim 0.5)\%$  镓，其余为 Fe 和不可避免的杂质组成，其中  $x=(0.5\sim 10)\%$ ， $y=(0.5\sim 2.5)\%$ ， $x-y \geq 0$ ，上述为重量百分比。

2、根据权利要求 1 所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于成份组成由钕为 28%重量、硼为 1.02%重量、镨为 1.0%重量，钆为 1.5%重量、铝为 0.2%重量、钆为 1.5%重量，铈为 0.4%重量、铜为 0.2%重量、钴为 0.2%重量、镓为 0.1%重量，余量为 Fe 及不可避免的杂质组成。

3、根据权利要求 1 所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于成份组成由钕为 28%重量、硼为 1.02%重量、钆为 1.5%重量、铝为 0.2%重量、铈为 0.4%重量、铜为 0.2%重量、钴为 0.2%重量、镓为 0.1%重量，余量为铁及不可避免的杂质组成。

4、根据权利要求 1 所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于成份组成由钕为 28.2%重量、硼为 1.02%重量、钆为 0.5%重量、铝为 0.2%重量、铈为 0.4%重量、铜为 0.2%重量、钴为 0.2%重量、镓为 0.1%重量，余量为铁及不可避免的杂质组成。

5、根据权利要求 1 所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于成份组成由钕为 28%重量、硼为 1.02%重量、钆为 2.5%重量、铝为 0.2%重量、铈为 0.4%重量、铜为 0.2%重量、钴为 0.2%重量、镓为 0.1%重量，余量为铁及不可避免的杂质组成。

6、根据权利要求 1~5 中任一项所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于钆元素以 HoFe 合金状态加入，其中钆含量为 80%重量，铁含量为 20%重量。

7、根据权利要求 1~5 中任一项所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于硼元素以 BFe 合金状态加入，其中硼含量为 19%重量，铁含量为 81%重量。

8、根据权利要求 1~5 中任一项所述的用钆代替镨的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于铈元素以 NbFe 合金状态加入，其中铈含量为 65%重量，铁含量为 35%重量。

## 用钬代替镝的烧结钕铁硼永磁材料

### 技术领域

本发明涉及一种烧结钕铁硼永磁材料，特别是调整稀土元素和含量以降低成分配方的钕铁硼永磁材料。

### 背景技术

现有的稀土钕铁硼永磁材料是八十年代开发出来的新型磁性材料，它具有高剩磁、高磁能积、高矫顽力以及高性价比等优异特性，是当今磁性最强的永磁体，被誉为永磁材料中的磁王。NdFeB 的主要元素由 Nd(钕)、Fe(铁)、B(硼)三元素构成，但这三元 NdFeB 磁体的矫顽力很低，约 10K0e(千奥斯特)，因而需要明显改善内禀矫顽力才可适合不同使用温度的环境。比如，最低矫顽力的牌号要求内禀矫顽力也应大于 12K0e，M 系列要求大于 14K0e，H 系列则要求大于 17K0e，直至目前最高矫顽力已达 35~40K0e。

改善矫顽力主要方法是添加重稀土元素如镝(Dy)、铽(Tb)、钬(Ho)、钆(Gd)等取代部分(钕铁硼)NdFeB 合金中钕(Nd)、镨(Pr)等元素，但是目前镝 Dy 的价格很高，铽 Tb 的价格则更高。由于近年来稀土金属价格大幅上涨，造成钕铁硼配方成本不断上升。虽然毛坯及成品售价也有一定程度的涨幅，但利润空间却有所降低，因此，不同的生产厂家在配方上进行了积极的探索和研究，通过价位低的稀土元素取代价格昂贵的稀土金属，制备具有相同磁性能的产品，以达到降低生产成本，提高市场竞争力的目的。

CN1810998A 公告了纳米复合稀土永磁材料中提到可用镝 Dy 或用 Tb、Sm、Ho 的混合物改善钕铁硼的磁性能，但未见具体的组成配方和试验结果。

### 发明内容

本发明要解决的技术问题在钕铁硼合金中用钬 Ho 取代或部分取代金属元素 Dy，以降低钕铁硼合金原材料的配方成本，提高性价比，提高产品的市场竞争力。

本发明的技术方案是：

用钬代替镝的烧结钕铁硼永磁材料，其特征在于成分组成由 [(28~40)%-x] 钕、(x-y)镝、y 钬、(0.95~1.3)%硼、(0~5)%钆、(0.1~1.0)%铈、(0.1~1.5)%铝、(0.1~0.5)%铜、(0~3)%钴、(0.1~0.5)%镓，其余为 Fe 和不可避

免的杂质及金属元素，其中  $x=(0.5\sim 10)\%$ ， $y=(0.5\sim 2.5)\%$ ， $x-y \geq 0$ ，上述为重量百分比。

按照上述的组成成分采用重稀土金属钬代替或部分代替重金属稀土镱，用常规制造钕铁硼永磁材料的方法，制造出同样规格要求的烧结钕铁硼永磁合金，并用相同的检测仪器设备多次检测试制品的永磁性能，取得相同的测试结果，其中内禀矫顽力都大于 12 千奥斯特，达到采用镱的钕铁硼的磁性能，但原材料钬的价格仅为镱的三分之一，极大提高性能价格比，达到发明目的。提高了钕铁硼永磁体的市场竞争力。

### 具体实施方式

实施例一：

稀土重金属钬 Ho 为我国丰富资源，本发明采用 HoFe 合金代替金属钬，其他元素 B、Gd 和 Nb 也用它们的铁合金代替。

配料：按照以下成份配比重量进行配料，钕 28%、硼 1.02%、镱 1.0%，钬 1.5%、铝 0.2%、钆 1.5%，铌 0.4%、铜 0.2%、钴 0.2%、镓 0.1%、铁及其他杂质为 65.88%，其中硼元素以 BFe 合金状态加入，硼含量为 19%、铁含量为 81%；钬元素以 HoFe 纯度 99.50%合金状态加入，钬含量为 80%、铁含量为 20%；钆元素以 GdFe 合金状态加入，钆含量为 75%、铁含量为 25%；铌元素以 NbFe 合金状态加入，其中铌含量为 65%，铁含量为 35%。

以熔炼 100 公斤钕铁硼合金为例：

成分配比	Nd	B	Dy	Ho	Al	Gd	Nb	Cu	Co	Ga	Fe 及杂质
(%重量)	28	1.02	1	1.5	0.2	1.5	0.4	0.2	0.2	0.1	65.88
所需原材料	Nd	BFe	Dy	HoFe	Al	GdFe	NbFe	Cu	Co	Ga	纯 Fe
(公斤)	28	5.37	1	1.88	0.2	2	0.62	0.2	0.2	0.1	60.43

上述成分中将 2.5%的镱用 1.5%的钬取代 1.5%的镱，其它成分不变。

按上表所述的金属原材料装入真空感应炉中。

熔 铸：装入真空感应炉内后，将真空感应炉中的空气抽真空至小于 1Pa，开始加温熔炼，至炉内配料发红时，关闭真空阀，充入氩气，待材料熔清后，精炼浇注成锭子，然后关闭电源，待锭子温度低于 60℃出炉；

制 粉：将锭子破碎至 90~110mm 的料块，经颚碎机和中碎机后将料块的出料颗粒处理成为 20 目以下，然后将出料放入气流磨内进行制粉，使粉颗粒控制在 2.7~5.5 $\mu\text{m}$  之间，将粉料放入混料机内，按配比加入汽油并进行混料 30~60

分钟；

**成型：**混好的粉料称重后，放入成型压机的模具内，加磁场取向，压制成型，然后退磁取出生坯，迅速抽真空封装，再将封装好的坯料放入等静压机中加压 150~200Mpa，保压 1~3 分钟后取出制成的生坯；

**烧结：**将生坯装入料盒后，放入真空烧结炉内烧结，在 1080~1115℃的烧结温度下烧结 3.5~4.5 个小时后，从烧结炉中取出，即制成钕铁硼磁体。

制成的烧结钕铁硼合金，检测方法参照 GB/T 3217 永磁（硬磁）材料磁性试验方法规定，经检测，磁性能检测结果：

剩磁能 Br：13.5KGs

内禀矫顽力 Hcj：12.9KOe

磁感应矫顽力 Hcb：12.3KOe

最大磁能积 BH（max）：45.7MGOe

未用 1.5%的 Ho 部分取代 1.5%的 Dy 制得的烧结钕铁硼合金的磁性能检测结果：

剩磁能 Br：13.6KGs

内禀矫顽力 Hcj：13.5KOe

磁感应矫顽力 Hcb：13.2KOe

最大磁能积 BH（max）：45.5MGOe

对比性能测试的数据可以看出：使用 1.5%的钬元素部分替代 1.5%镨元素后，磁性能的以上四个参数的值变化不大，符合同样牌号的磁性能。可见，使用替代元素钬，采用上述工艺步骤制造烧结钕铁硼合金，达到节省成本的效果。

**实施例二：**

**配料：**按照以下成份配比重量进行配料，钕 28%、硼 1.02%、钬 1.5%、铝 0.2%、铌 0.4%、铜 0.2%、钴 0.2%、镓 0.1%、铁及其他杂质 68.38%，其中硼元素以 BFe 合金状态加入，硼含量为 19%、铁含量为 81%；钬元素以 HoFe 纯度 99.50% 合金状态加入，钬含量为 80%、铁含量为 20%；铌元素以 NbFe 合金状态加入，其中铌含量为 65%，铁含量为 35%。

以熔炼 100 公斤钕铁硼合金为例：

成分配比	Nd	B	Ho	Al	Nb	Cu	Co	Ga	Fe 及杂质
(%重量)	28	1.02	1.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	68.38
所需原材料	Nd	BFe	HoFe	Al	NbFe	Cu	Co	Ga	纯 Fe
(公斤)	28	5.37	1.88	0.2	0.62	0.2	0.2	0.1	63.43

按上表所述的金属原材料装入真空感应炉中；

熔铸：装入真空感应炉内后，将真空感应炉中的空气抽真空至小于 1Pa，开始加温熔炼，至炉内配料发红时，关闭真空阀，充入氩气，待材料熔清后，精炼浇注成锭子，然后关闭电源，待锭子温度低于 60℃ 出炉；

制粉：将锭子破碎至 90~110mm 的料块，经颚碎机和中碎机后将料块的出料颗粒处理成为 20 目以下，然后将出料放入气流磨内进行制粉，使粉颗粒控制在 2.7~5.5 μm 之间，将粉料放入混料机内，按配比加入汽油并进行混料 30~60 分钟；

成型：混好的粉料称重后，放入成型压机的模具内，加磁场取向，压制成型，然后退磁取出生坯，迅速抽真空封装，再将封装好的坯料放入等静压机中加压 150~200Mpa，保压 1~3 分钟后取出制成的生坯；

烧结：将生坯装入料盒后，放入真空烧结炉内烧结，在 1080~1115℃ 的烧结温度下烧结 3.5~4.5 个小时后，从烧结炉中取出，即制成钕铁硼磁体。

按上述方法，即：将配方成分中的 Dy 全部用 1.5% 的 Ho 元素取代，其它成分不变制成的烧结钕铁硼合金，检测方法参照 GB/T 3217 永磁（硬磁）材料磁性试验方法规定，经检测，磁性能检测结果：

剩磁能 Br：13.6KGs

内禀矫顽力 H<sub>cj</sub>：12.7KOe

磁感应矫顽力 H<sub>cb</sub>：12.7KOe

最大磁能积 BH（max）：45.9MG0e

未用 Ho 取代 Dy 制得的烧结钕铁硼合金的磁性能：

剩磁能 Br：13.5KGs

内禀矫顽力 H<sub>cj</sub>：13.0KOe

磁感应矫顽力 H<sub>cb</sub>：12.8KOe

最大磁能积 BH（max）：45.5MG0e

对比性能测试的数据可以看出：使用 1.5% 的钬全部替代镝后，磁性能的磁能积得到提高，其它参数变化不大。可见，使用替代元素钬，采用同样的工艺步骤制造烧结钕铁硼合金，达到节约成本的效果。

实施例三：

配料：按照以下成份配比重量进行配料，钕 28.2%、硼 1.02%、钬 0.5%、铝 0.2%、铈 0.4%、铜金属 0.2%、钴金属 0.2%、镓金属 0.1%、铁及其他杂质 69.18%，

其中硼元素以 BFe 合金状态加入，硼含量为 19%、铁含量为 81%；钬元素以 HoFe 纯度 99.50%合金状态加入，钬含量为 80%、铁含量为 20%；铌元素以 NbFe 合金状态加入，其中铌含量为 65%，铁含量为 35%。

以熔炼 100 公斤钕铁硼合金为例：

成分配比	Nd	B	Ho	Al	Nb	Cu	Co	Ga	Fe 及杂质
(%重量)	28.2	1.02	0.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	69.18
所需原材料	Nd	BFe	HoFe	Al	NbFe	Cu	Co	Ga	纯 Fe
(公斤)	28.2	5.37	0.63	0.2	0.62	0.2	0.2	0.1	64.48

按上表所述的金属原材料装入真空感应炉中；

熔 铸：装入真空感应炉内后，将真空感应炉中的空气抽真空至小于 1Pa，开始加温熔炼，至炉内配料发红时，关闭真空阀，充入氩气，待材料熔清后，精炼浇注成锭子，然后关闭电源，待锭子温度低于 60℃ 出炉；

制 粉：将锭子破碎至 90~110mm 的料块，经颚碎机和中碎机后将料块的出料颗粒处理成为 20 目以下，然后将出料放入气流磨内进行制粉，使粉颗粒控制在 2.7~5.5 μm 之间，将粉料放入混料机内，按配比加入汽油并进行混料 30~60 分钟；

成 型：混好的粉料称重后，放入成型压机的模具内，加磁场取向，压制成型，然后退磁取出生坯，迅速抽真空封装，再将封装好的坯料放入等静压机中加压 150~200Mpa，保压 1~3 分钟后取出制成的生坯；

烧结：将生坯装入料盒后，放入真空烧结炉内烧结，在 1080~1115℃ 的烧结温度下烧结 3.5~4.5 个小时后，从烧结炉中取出，即制成钕铁硼磁体。

按上述方法，即：将配方成分中 0.5% 的镝全部用钬取代，其它成分不变制成的烧结钕铁硼合金，检测方法参照 GB/T 3217 永磁（硬磁）材料磁性试验方法规定，经检测，磁性能检测结果：

剩磁能 Br：13.4KGs

内禀矫顽力 Hcj：13.0K0e

磁感应矫顽力 Hcb：12.8K0e

最大磁能积 BH (max)：44.5MG0e

未用 Ho 取代 Dy 制得的烧结钕铁硼合金的磁性能：

剩磁能 Br：13.5KGs

内禀矫顽力 Hcj：13.5K0e

磁感应矫顽力  $H_{cb}$ : 12.9kOe

最大磁能积  $BH$  (max): 45.2MG0e

对比性能测试的数据可以看出: 使用 0.5%的钬全部替代 0.5%的镨后, 磁性仍然符合牌号的, 而且还更高些。可见, 使用替代元素钬, 采用同样的工艺步骤制造烧结钕铁硼合金, 达到节约成本的效果。

#### 实施例四:

配料: 按照以下成份配比重量进行配料, 钕 28%、硼 1.02%、钬 2.5%、铝 0.2%、铌 0.4%、铜 0.2%、钴 0.2%, 镓 0.1%, 铁及其他杂质 61.88%, 其中硼元素以 BFe 合金状态加入、硼含量为 19%、铁含量为 81%; 钬元素以 HoFe 纯度 99.50% 合金状态加入, 钬含量为 80%、铁含量为 20%; 铌元素以 NbFe 合金状态加入, 其中铌含量为 65%, 铁含量为 35%。

以熔炼 100 公斤钕铁硼合金为例:

成分配比	Nd	B	Ho	Al	Nb	Cu	Co	Ga	Fe 及杂质
(%重量)	28	1.02	2.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	67.38
所需原材料	Nd	BFe	HoFe	Al	NbFe	Cu	Co	Ga	纯 Fe
(公斤)	28	5.37	3.13	0.2	0.62	0.2	0.2	0.1	62.18

按上表所述的金属原材料装入真空感应炉中;

熔铸: 装入真空感应炉内后, 将真空感应炉中的空气抽真空至小于 1Pa, 开始加温熔炼, 至炉内配料发红时, 关闭真空阀, 充入氩气, 待材料熔清后, 精炼浇注成锭子, 然后关闭电源, 待锭子温度低于 60℃ 出炉;

制粉: 将锭子破碎至 90~110mm 的料块, 经颚碎机和中碎机后将料块的出料颗粒处理成为 20 目以下, 然后将出料放入气流磨内进行制粉, 使粉颗粒控制在 2.7~5.5  $\mu\text{m}$  之间, 将粉料放入混料机内, 按配比加入汽油并进行混料 30~60 分钟;

成型: 混好的粉料称重后, 放入成型压机的模具内, 加磁场取向, 压制成型, 然后退磁取出生坯, 迅速抽真空封装, 再将封装好的坯料放入等静压机中加压 150~200Mpa, 保压 1~3 分钟后取出制成的生坯;

烧结: 将生坯装入料盒后, 放入真空烧结炉内烧结, 在 1080~1115℃ 的烧结温度下烧结 3.5~4.5 个小时后, 从烧结炉中取出, 即制成钕铁硼磁体。

按上述方法, 即: 将一个配方成分中 2.5%的 Dy 全部用 Ho 元素取代, 其它成分不变制成的烧结钕铁硼合金, 检测方法参照 GB/T 3217 永磁(硬磁)材料磁



性试验方法规定，经检测，磁性能检测结果：

剩磁能 Br：13.8KGs

内禀矫顽力 Hcj：12.5KOe

磁感应矫顽力 Hcb：12.8KOe

最大磁能积 BH (max)：46MG0e

未用 Ho 取代 Dy 制得的烧结钕铁硼合金的磁性能：

剩磁能 Br：13.6KGs

内禀矫顽力 Hcj：13.5KOe

磁感应矫顽力 Hcb：13.2KOe

最大磁能积 BH (max)：45MG0e

对比性能测试的数据可以看出：使用 2.5%的钆全部替代 2.5%镨后，磁性能中的 Br 和 BH (max) 参数得到提高，Hcj 和 Hcb 略有所降低，然而，仍然符合同牌号产品的磁性能，不至于造成磁性能过剩的“资源浪费”。用稀土元素钆代替镨制造烧结钕铁硼合金组成配比和工艺是可行的。

以上实施例的检测数据是实验样品测量平均值。由此可知：随着取代镨元素的钆元素含量的增加，产品的剩磁和磁能积略有提高，矫顽力略有所降低，但是，仍然符合同牌号产品的磁性能，不至于造成磁性能过剩的“资源浪费”。钆元素取代镨元素降低成本的工艺是可行的。