



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1995441 B

(45) 授权公告日 2010.10.06

(21) 申请号 200510137232.2

(22) 申请日 2005.12.31

(73) 专利权人 有研稀土新材料股份有限公司

地址 100088 北京市新街口外大街2号有研
稀土

(72) 发明人 李扩社 于敦波 李红卫 张世荣
王鹏飞 姚国庆 杨红川 徐静

(51) Int. Cl.

C23C 8/36 (2006.01)

H01L 41/20 (2006.01)

H01L 41/22 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1466231 A, 全文.

JP 特开平 5-51704 A, 1993.03.02, 全文.

CN 1308379 A, 2001.08.15, 权利要求 23、
25、说明书第 8 页第 5 段、第 20 页第 5 段第 2 ~ 3
行.

审查员 王涛

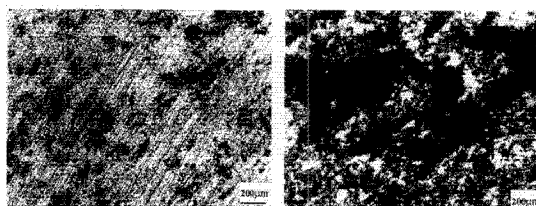
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种稀土超磁致伸缩材料表面改性方法

(57) 摘要

本发明是一种稀土超磁致伸缩材料表面改性方法,涉及新型功能材料及其制造领域。其特征为:通过离子渗氮、渗碳、或氮碳共渗技术在材料表面形成保护层,提高材料抗腐蚀及表面机械性能。该技术不仅可以显著提高材料的表面硬度、耐磨性及抗腐蚀性能,而且对材料的磁致伸缩性能影响较小。很大程度上提高了稀土超磁致伸缩材料在实际使用过程中的可靠度和使用范围。



1. 一种稀土超磁致伸缩材料表面改性方法,其特征在于:通过离子渗入的方法在稀土超磁致伸缩材料表面渗入氮元素、碳元素中的一种或两种,经过该方法改性后,在稀土超磁致伸缩材料表面形成的渗层深度为 $0.001 \sim 1.0\text{mm}$,所述的稀土超磁致伸缩材料的成分主要为铽、镝、铁,分子式为: $(\text{Tb}_x\text{Dy}_{1-x-y}\text{M}_y)\text{Fe}_z$, 其中 $0.20 \leq x \leq 0.32$, $0.00 \leq y \leq 0.2$, $1.90 \leq z \leq 2.0$, M 代表 Pr、Nd、Ho、Er、Al、Mn、Ga、Si、Co、Ni、Ti、Cr、Cu 元素中的一种或几种。

2. 权利要求 1 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性的方法,其特征在于:在稀土超磁致伸缩材料表面渗入氮元素,采用离子渗氮技术渗入氮元素,离子渗氮的气体介质采用含氮气体,渗入温度控制在 $300 \sim 650^\circ\text{C}$ 之间,时间为 $1 \sim 15$ 小时。

3. 权利要求 1 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性的方法,其特征在于:在稀土超磁致伸缩材料表面渗入碳元素,采用离子渗碳技术渗入碳元素,离子渗碳的气体介质采用含碳气体,渗入温度控制在 $400 \sim 900^\circ\text{C}$ 之间,时间为 $1 \sim 8$ 小时。

4. 权利要求 1 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性的方法,其特征在于:在稀土超磁致伸缩材料表面渗入氮和碳两种元素,采用离子氮碳共渗技术渗入氮和碳元素,离子氮碳共渗的气体介质采用含氮元素和碳元素的气体,渗入温度控制在 $300 \sim 800^\circ\text{C}$ 之间,时间为 $1 \sim 10$ 小时。

5. 权利要求 1 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性方法,其特征在于:稀土磁致伸缩材料在改性前后其磁致伸缩性能相对变化不大于 $\pm 20\%$ 。

6. 权利要求 2 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性的方法,其特征在于:所述的含氮气体是 N_2 、 NH_3 、 N_2+H_2 中的任一种。

7. 权利要求 3 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性的方法,其特征在于:所述的含碳气体是 CH_4+H_2 、 $\text{C}_3\text{H}_8+\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4+\text{C}_3\text{H}_8+\text{C}_4\text{H}_{10}+\text{H}_2$ 中的任一种。

8. 权利要求 4 中所述的稀土超磁致伸缩材料表面改性的方法,其特征在于:所述的含氮元素和碳元素的气体是 $\text{N}_2+\text{CH}_4+\text{H}_2$ 、 NH_3+CO_2 、 $\text{NH}_3+\text{C}_3\text{H}_8$ 中的任一种。

一种稀土超磁致伸缩材料表面改性方法

技术领域

[0001] 本发明涉及新型功能材料及其制造领域,具体地讲是一种稀土超磁致伸缩材料表面改性方法。

背景技术

[0002] 稀土超磁致伸缩材料的主要特点是室温下应变大,反应速度快,能量密度高。用稀土超磁致伸缩材料制备的磁(电)-声换能器、传感器、高性能电磁阀、致动器已被广泛地应用在高新技术及航空航天领域。随着其应用范围的扩大,磁致伸缩材料机械强度低、易氧化、抗腐蚀性能差等缺点很大程度上限制了其在复杂环境下的使用,也影响了该材料服役航天领域的使用寿命和安全可靠性。

[0003] 日本专利特开平 5-51704 公开了一种稀土超磁致伸缩材料,通过向主相侵入元素 B、C、N 提高该材料的居里温度。然而,由于是通过高温熔融金属将氮或者碳元素侵入合金中,因此,引入元素与稀土或铁元素反应形成大量的氮化物和碳化物,很大程度上影响了稀土超磁致伸缩材料的磁致伸缩性能和机械性能。

[0004] 中国专利 01104543.4 公开了一种在 200 ~ 600℃ 以下低温氮气气氛环境下将氮以间隙型固溶到稀土超磁致伸缩合金中以提高其居里温度。由于采用了气体渗氮方法,不仅渗氮效率较低,而且材料表面及内部的氮含量难于控制均匀,后续需要进行均匀化热处理。

[0005] 上述专利及有关文献报道的磁致伸缩材料渗入 C、N 主要目的是通过改变晶体的晶格常数来提高材料的居里温度。我们研究发现,通过在稀土超磁致伸缩材料表面渗入 C、N 元素可以在该材料表面形成一层保护膜,可显著提高材料的抗腐蚀性能、表面硬度及耐磨性能,而且对材料的磁致伸缩性能没有太大影响。

[0006] 在表面处理过程中,温度对稀土磁致伸缩性能的磁致伸缩性能影响较大,过高的处理温度或较长的热处理时间都会导致材料含氧量增加,内部出现铁三相 (RFe_3),大大降低材料的磁致伸缩性能。传统的气体渗氮、渗碳、氮碳共渗等表面处理技术由于效率低、处理温度高、时间长,因此,不适合处理稀土超磁致伸缩材料。而液体盐浴表面处理技术虽然处理温度较低,但所用的熔盐易与稀土元素发生化学反应,因此,也不能用于稀土超磁致伸缩材料的表面处理。

[0007] 本发明采用离子表面处理技术将氮、碳元素以较低的温度渗入材料表面,在材料表面形成一层厚度约在 0.001 ~ 1.0mm 的保护层,保护层可根据需要调节离子渗入的工艺参数,形成化合物或固溶体。由于渗入元素效率高、温度低、时间短、控制精度高,因此材料内部的成分和组织结构保持不变,对材料磁致伸缩性能没有太大影响,非常适合用于稀土磁致伸缩材料的表面改性。

发明内容

[0008] 权利要求 1 所述的一种稀土超磁致伸缩材料表面改性方法,是采用离子化学热处理技术在稀土超磁致伸缩材料表面渗入氮元素、碳元素中的一种或两种,所形成的渗层的

厚度为 0.001 ~ 1.0mm, 通过该保护层提高该材料的抗腐蚀、表面硬度和耐磨性能。

[0009] 离子渗氮采用的气体介质为 N_2 、 NH_3 、 H_2 中的一种或多种, 渗入温度控制在 300 ~ 650℃ 之间, 时间为 1 ~ 15 小时。

[0010] 离子渗碳采用的气体介质为 CH_4 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 、 CO_2 、 CO 、 C_2H_5OH 、 H_2 、煤气中的一种或多种, 渗入温度控制在 400 ~ 900℃ 之间, 时间为 1 ~ 8 小时。

[0011] 离子氮碳共渗的气体介质为渗氮气体介质和渗碳气体介质的混合气体, 渗入温度控制在 300 ~ 800℃ 之间, 时间为 1 ~ 10 小时。

[0012] 渗入温度大于 300℃ 是为了保证渗入元素的效率, 渗入温度小于 900℃、渗入时间小于 15 小时是为了避免稀土超磁致伸缩材料内部出现铁三相、减少内部缺陷和应力, 从而保证材料磁致伸缩性能。

[0013] 权利要求 1 所述的表面改性方法, 用于改性的稀土超磁致伸缩材料其成分主要为铽、镝、铁元素, 分子式为: $(Tb_x Dy_{1-x-y} M_y) Fe_z$, 其中 $0.20 \leq x \leq 0.32$, $0.00 \leq y \leq 0.2$, $1.90 \leq z \leq 2.0$, M 代表 Pr、Nd、Ho、Er、Al、Mn、Ga、Si、Co、Ni、Ti、Cr、Cu 元素中的一种或几种。

附图说明

[0014] 图 1 给出了用金相显微镜观察到的渗氮样品与未渗氮样品的腐蚀形貌, 左为渗氮样品, 右为未渗氮样品。

具体实施方式

[0015] 以下用实例对本发明作进一步说明。本发明保护范围不受这些实施例的限制, 本发明保护范围由权利要求书决定。

[0016] 实施例 1

[0017] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(Tb_{0.3} Dy_{0.7}) Fe_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} Pa$, N_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子渗氮。渗氮温度控制在 300℃, 渗氮时间 15 小时, 放电功率为 $1.20 W/cm^2$ 。渗氮完毕后, 用金相法观察渗层深度; 然后, 分别测量渗氮样品与未渗氮样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。用金相显微镜观察到的渗层深度为 0.225mm。采用 HVS-1000 型数字显微硬度测量仪测量表面硬度, 测量环境温度 25℃, 测量结果为未渗氮样品的维氏硬度为 581HV, 渗氮样品为 642HV。采用 UMT-2 型数字磨擦测量仪测量材料表面耐磨性能, 测试条件为: 环境温度 25℃, 垂直压力 20N, 压头为直径 4mm 的钢珠, 水平行程 10mm, 来回 10 个周期, 测量结果: 未渗氮样品钢珠压入深度为 48 μm , 而渗氮样品钢珠压入深度为 31 μm 。抗腐蚀性能用失重法计算其腐蚀速度, 测量方法为: 测量环境温度 150℃, 相对湿度 100% 的空气, 高压釜压力 $8.0 \times 10^4 Pa$, 保持 5 小时, 计算样品失重质量, 测量结果为: 未渗氮样品腐蚀速度为 $13 mg \cdot cm^{-2}/h$, 渗氮样品腐蚀速度为 $0.07 mg \cdot cm^{-2}/h$ 。图 1 给出了用金相显微镜观察到的渗氮样品与未渗氮样品的腐蚀形貌, 左为渗氮样品, 右为未渗氮样品。用标准电阻应变法测量磁致伸缩性能, 测量环境温度 25℃, 样品压力 0MPa, 测量结果见表 1。

[0018] 表 1

[0019]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗氮样品磁致伸缩应变 (ppm)	520	1450	1800
渗氮样品磁致伸缩应变 (ppm)	500	1370	1750

[0020] 实施例 2

[0021] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.20}\text{Dy}_{0.75}\text{Pr}_{0.05})\text{Fe}_{2.0}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, NH_3 经过干燥后直接充入炉内进行离子渗氮。渗氮温度控制在 650°C , 渗氮时间 1 小时, 放电功率为 $1.30 \text{W}/\text{cm}^2$ 。渗氮完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量渗氮样品与未渗氮样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层深度为 0.110mm ; 未渗氮样品的维氏硬度为 585HV , 渗氮样品为 648HV ; 未渗氮样品钢珠压入深度为 $43 \mu\text{m}$, 而渗氮样品钢珠压入深度为 $32 \mu\text{m}$ 。未渗氮样品腐蚀速度为 $12.6 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 渗氮样品腐蚀速度为 $0.05 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 2。

[0022] 表 2

[0023]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗氮样品磁致伸缩应变 (ppm)	410	1260	1430
渗氮样品磁致伸缩应变 (ppm)	390	1215	1450

[0024] 实施例 3

[0025] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.32}\text{Dy}_{0.63}\text{Al}_{0.05})\text{Fe}_{1.90}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, N_2 与 H_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子渗氮, 其中 N_2 与 H_2 体积比为 1 : 3。渗氮温度控制在 450°C , 渗氮时间 5 小时, 放电功率为 $1.22 \text{W}/\text{cm}^2$ 。渗氮完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量渗氮样品与未渗氮样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 0.256mm ; 未渗氮样品的维氏硬度为 573HV , 渗氮样品为 638HV ; 未渗氮样品钢珠压入深度为 $50 \mu\text{m}$, 而渗氮样品钢珠压入深度为 $35 \mu\text{m}$ 。未渗氮样品腐蚀速度为 $14.1 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 渗氮样品腐蚀速度为 $0.10 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 3。

[0026] 表 3

[0027]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗氮样品磁致伸缩应变 (ppm)	395	1180	1370
渗氮样品磁致伸缩应变 (ppm)	320	1050	1290

[0028] 实施例 4

[0029] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.3}\text{Dy}_{0.7})\text{Fe}_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 将 CH_4 、 H_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子渗碳, 其中 CH_4 与 H_2 体积比为 1 : 10。渗碳温度控制在 400°C , 渗碳时间 8 小时, 放电功率为 $1.20 \text{W}/\text{cm}^2$ 。渗碳完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量渗碳样品与未渗碳样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 0.380mm ; 未渗碳样品的维氏硬度为 583HV, 渗碳样品为 670HV; 未渗碳样品钢珠压入深度为 $48 \mu\text{m}$, 而渗碳样品钢珠压入深度为 $29 \mu\text{m}$ 。未渗碳样品腐蚀速度为 $13.0 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 渗碳样品腐蚀速度为 $0.22 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 4。

[0030] 表 4

[0031]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	520	1420	1820
渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	490	1300	1750

[0032] 实施例 5

[0033] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}^{0.28}\text{Dy}_{0.67}\text{Mn}_{0.05})\text{Fe}_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 将 C_3H_8 、 H_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子渗碳, 其中 C_3H_8 与 H_2 体积比为 1 : 12。渗碳温度控制在 900°C , 渗碳时间 1 小时, 放电功率为 $1.30 \text{W}/\text{cm}^2$ 。渗碳完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量渗碳样品与未渗碳样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 0.450mm ; 未渗碳样品的维氏硬度为 580HV, 渗碳样品为 665HV; 未渗碳样品钢珠压入深度为 $48 \mu\text{m}$, 而渗碳样品钢珠压入深度为 $28 \mu\text{m}$ 。未渗碳样品腐蚀速度为 $13.1 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 渗碳样品腐蚀速度为 $0.28 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 5。

[0034] 表 5

[0035]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	480	1350	1650
渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	430	1200	1620

[0036] 实施例 6

[0037] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.28}\text{Dy}_{0.67}\text{Ho}_{0.05})\text{Fe}_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 将 CH_4 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 、 H_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子渗碳, 其中 CH_4 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 与 H_2 体积比为 2 : 2 : 1 : 70。渗碳温度控制在 650°C , 渗碳时间 8 小时, 放电功率为 $1.25 \text{W}/\text{cm}^2$ 。渗碳完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量渗碳样品与未渗碳样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 1.000mm ; 未渗碳样品的维氏硬度为 585HV, 渗碳样品为 675HV; 未渗碳样品钢珠压入深度为 $45 \mu\text{m}$, 而渗碳样品钢珠压入深度为 $27 \mu\text{m}$ 。未渗碳样品腐蚀速度为 $14.0 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 渗碳样品腐蚀速度为 $0.25 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 6。

[0038] 表 6

[0039]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	400	950	1420
渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	320	910	1350

[0040] 实施例 7

[0041] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.3}\text{Dy}_{0.7})\text{Fe}_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 将 N_2 、 CH_4 、 H_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子氮碳共渗, 其中 N_2 、 CH_4 与 H_2 体积比为 20 : 1 : 60。氮碳共渗温度控制在 300°C , 氮碳共渗时间 10 小时, 放电功率为 $1.20 \text{W}/\text{cm}^2$ 。氮碳共渗完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量氮碳共渗样品与未氮碳共渗样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 0.200mm ; 未氮碳共渗样品的维氏硬度为 580HV, 氮碳共渗样品为 665HV; 未氮碳共渗样品钢珠压入深度为 $48 \mu\text{m}$, 而氮碳共渗样品钢珠压入深度为 $31 \mu\text{m}$ 。未氮碳共渗样品腐蚀速度为 $13.0 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 氮碳共渗样品腐蚀速度为 $0.11 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 7。

[0042] 表 7

[0043]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	490	1400	1750
渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	460	1350	1700

[0044] 实施例 8

[0045] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.27}\text{Dy}_{0.68}\text{Pr}_{0.05})\text{Fe}_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 将 NH_3 、 CO_2 经过干燥后直接充入炉内进行离子氮碳共渗, 其中 NH_3 与 CO_2 体积比为 20 : 1。氮碳共渗温度控制在 800°C , 氮碳共渗时间 1 小时, 放电功率为 $1.30 \text{W}/\text{cm}^2$ 。氮碳共渗完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量氮碳共渗样品与未氮碳共渗样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 0.450mm ; 未氮碳共渗样品的维氏硬度为 582HV, 氮碳共渗样品为 670HV; 未氮碳共渗样品钢珠压入深度为 $47 \mu\text{m}$, 而氮碳共渗样品钢珠压入深度为 $30 \mu\text{m}$ 。未氮碳共渗样品腐蚀速度为 $13.5 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 氮碳共渗样品腐蚀速度为 $0.15 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 8。

[0046] 表 8

[0047]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	400	1100	1450
渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	380	1050	1300

[0048] 实施例 9

[0049] 本实施例的稀土超磁致伸缩材料其分子式为 $(\text{Tb}_{0.27}\text{Dy}_{0.68}\text{Mn}_{0.05})\text{Fe}_{1.95}$, 样品为 $10 \times 10 \times 18$ 的长方体。将样品表面采用标准金相方法打磨、抛光后, 装入专用的离子热处理炉, 然后抽真空至 $1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 将 NH_3 、 C_3H_8 经过干燥后直接充入炉内进行离子氮碳共渗, 其中 NH_3 与 C_3H_8 体积比为 20 : 1。氮碳共渗温度控制在 560°C , 氮碳共渗时间 2 小时, 放电功率为 $1.20 \text{W}/\text{cm}^2$ 。氮碳共渗完毕后, 用与实施例 1 相同的方法观察渗层深度、测量氮碳共渗样品与未氮碳共渗样品的表面硬度、耐磨性、抗腐蚀性能、磁致伸缩性能做对比试验。测量结果: 渗层厚度为 0.400mm ; 未氮碳共渗样品的维氏硬度为 575HV, 氮碳共渗样品为 673HV; 未氮碳共渗样品钢珠压入深度为 $47 \mu\text{m}$, 而氮碳共渗样品钢珠压入深度为 $32 \mu\text{m}$ 。未氮碳共渗样品腐蚀速度为 $13.6 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$, 氮碳共渗样品腐蚀速度为 $0.09 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{h}$ 。磁致伸缩性能测量结果见表 9。

[0050] 表 9

[0051]

测量磁场 (Oe)	500	1000	3000
未渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	450	1250	1580
渗碳样品磁致伸缩应变 (ppm)	390	1100	1420

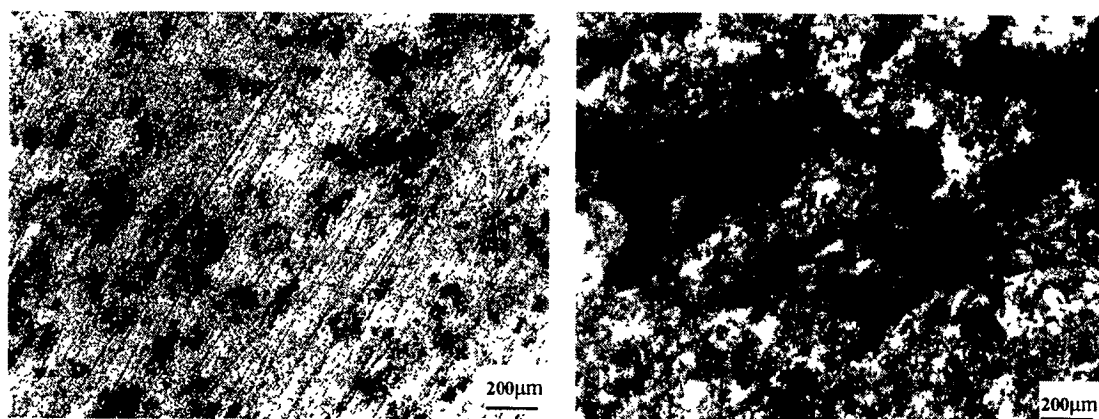


图 1