

文章编号:1671-6833(2004) 04-0045-04

用铁基块状金属玻璃作为磁芯的传感器工作特性

李福山, 田高峰, 李万昭, 杜学山

(郑州大学材料工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要: 差动变压器式传感器是一种广泛应用于工业生产现场的传感器,由于决定这类传感器输出特性的结构参数较多,如线圈匝数、磁芯直径、骨架材料和几何形状等,因此在系统参数优化配置时较为困难,实际中都选择优质材料和高精度的加工工艺来保证优良的输出特性.研究了(Fe₅₀Co₅₀)₇₂B₂Si₄Nb₄ 铁基块状金属玻璃(Bulk Metallic Glass,简称 BMG) 作为差动变压器式位移传感器的磁芯材料的传感特性;实验结果表明:在相同条件下,采用金属玻璃作磁芯的传感器灵敏度比用波莫合金灵敏度更高,稳定性更好,信噪比更大,在较高的激励电源频率 ω 下铁损更小;而且金属玻璃制成的磁芯尺寸小、电阻率高、涡流损耗小,因此能把电流的重复频率取得比较高,有效地扩展了传感器的频率响应范围.

关键词: 铁基块状金属玻璃; 差动变压器式传感器; 灵敏度; 磁芯

中图分类号: TM 153 **文献标识码:** A

0 引言

块状金属玻璃是近 10 年来发现的具有宽过冷液相区、能在较低冷却速率下获得玻璃结构的新型材料,由于它在磁性能、电性能、机械性能及抗腐蚀、耐辐射等方面比晶态金属优良,而逐渐成为科学工作者竞相研究的焦点^[1].众所周知,传感器是各种仪器仪表和自动化设备的基础,它的应用极为广泛^[2];随着现在科学技术的发展,人们对它的要求也越来越高,如在高级汽车、工业机器人、功率马达、工业测量及医学电子学等关键性技术领域,就要求具有多种特性和多种功能的新型传感器,一般晶体材料、半导体材料和铁磁材料很难满足这些领域对传感器提出的要求^[3~5],而用材质均匀的金属玻璃制造的高性能传感器不仅结构简单、成本低廉,而且可靠性高、热稳定性好,因此受到了越来越多的重视.

铁基金属玻璃作为一种优良的磁性材料,因导磁系数高、磁饱和和感应强度高以及良好的时间和温度的稳定性,而被应用于越来越多的领域,除用于各种变压器铁芯外^[6~9],还可用作各种形式的传感器磁芯^[9~11],而且在这类传感器的应用前景方面它还显示了极大的潜力.作者用直径 2 mm 的(Fe₅₀Co₅₀)₇₂B₂Si₄Nb₄BMG 和直径 3 mm 的波莫合金分别作为差动变压式传感器的铁芯,研究了

它们在传感特性方面的差别.

1 实验原理及方法

铁基BMG(Fe₅₀Co₅₀)₇₂B₂Si₄Nb₄ 由日本东北大学金属研究所友好提供.它的主要性能参数如表 1 所示.波莫合金的直径 $\Phi=3$ mm,长度 64 mm;金属玻璃直径 $\Phi=2$ mm,长度 64 mm.

一般说来,电源电压 U_e 越高,灵敏度也相应越高,灵敏度与电源电压之间是线性关系.但在工程设计时不允许将输入电压取得过大.如果电压过大,则在初级线圈内的电流也过大,由于初级线圈的阻抗使差动变压器发热,使得传感器功耗变大,引起差动变压器输出信号的漂移.为使传感器长期稳定工作而不发热,电源电压的选取一般以 0.5~5 V 为宜^[12].本实验所选择的电源电压 U_e 分别为 1 V、2 V、2.5 V.

表 1 (Fe₅₀Co₅₀)₇₂B₂Si₄Nb₄BMG 主要性能参数

Tab.1 Primary performance parameters of (Fe ₅₀ Co ₅₀) ₇₂ B ₂ Si ₄ Nb ₄ BMG			
玻璃转变温度 $T_g/^\circ\text{C}$	晶化温度 $T_x/^\circ\text{C}$	导磁率 μ_e	饱和磁感应强度 B_s/T
550	600	60 000	1.32

初级线圈匝数 1 000,初级线圈与次级线圈匝数比=1:2.

图 1 为差动变压器式传感器工作原理简图.

收稿日期:2004-08-10; 修订日期:2004-09-20

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(0311050200);河南省教育厅自然科学基金资助项目(2003430209)

作者简介:李福山(1963-)男,河南省郑州市人,郑州大学副教授,博士研究生,主要从事大块非晶合金的研究和开发.

主要包括 3 个过程. 首先由激励电源产生交流电信号, 通过滤波、整流, 传给高精度的差动变压器式传感器, 这样通过测定输入频率、输入电压、输出电压以及位移之间的相互关系来考虑用金属玻璃和波莫合金这两种不同的材料作磁芯传感器的工作特性.

差动变压器主要包括 3 部分: 初级线圈、次级线圈、铁芯. 这种传感器工作时, 初级线圈产生的磁场在次级线圈范围内的磁力线分布状况与铁芯在线圈中的位置有关. 因此次级线圈中产生的感

生电压与铁芯位置密切相关, 具体如图 2 所示. 并且具有“V”字形特性, 如图 2(c) 中实线所示. 但是当铁芯在中心位置时, 输出电压应该为零, 然而实际上输出特性曲线“V”字端部都不是零, 而是有一个很小的电压 e_0 存在, 这个电压称为“零点残余电压”如图 2(c) 中虚线所示^[1,13]. 在相同传感器结构条件下, 由波菲合金和金属玻璃作为差动变压器式传感器的铁芯所产生的零点残余电压几乎是相同的, 这说明零点残余电压是由传感器的结构决定的.



图 1 差动变压器式传感器的工作原理
Fig. 1 Work principle of differential transformen's sensor

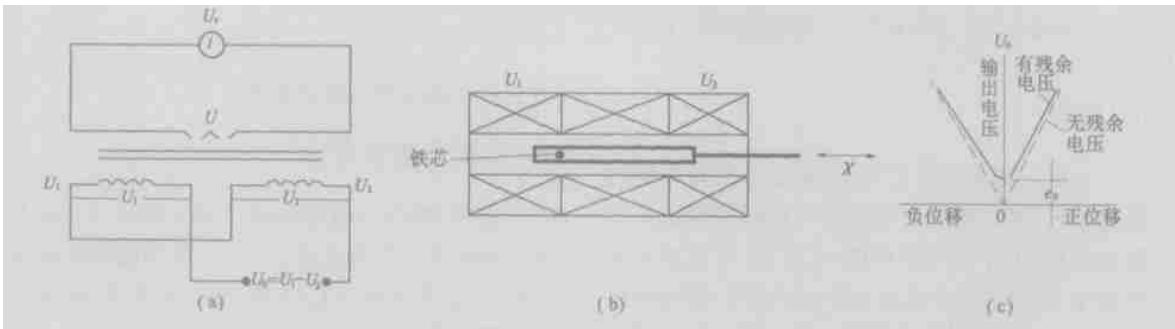


图 2 “V”字形特性
Fig. 2 Trait of “V”

灵敏度 K_t 是表征传感器性能的一个重要的参数. K_t 值越大, 传感器的性能也就越好, 所以灵敏度一直是人们在设计新型传感器过程中所追求的目标.

$$K_t = n \frac{U_e}{\delta_0} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{Q}}}$$

式中: U_e 为电源电压; w_1, w_2 分别为初级线圈和次级线圈的匝数; $n = \frac{w_2}{w_1}$; Q 为品质因子, $Q = \frac{\omega L_a}{r}$; ω 为激励电源频率(输入频率); L_a 为线圈的感应系数; r 为线圈内阻.

显然传感器的灵敏度与激励电源的频率、电压以及传感器的结构参数有关, 从公式中可以得到传感器灵敏度 K_t 与输入频率 ω 的关系曲线(即频率特性曲线). 图 3 即为典型的频率特性曲线. 从图中可以看出, 灵敏度 K_t 与输入频率 ω 之间并不呈线性关系, 随着激励电源频率 ω 的增大, K_t 也增大; 最后灵敏度则会逐渐趋近某一特定值, 但是随着 ω 的进一步增大, 则会使铁损(磁

滞和涡流损耗) 增加, 寄生电容和外界干扰的影响加大. 一般在设计的时间 ω_0 取 2 000~8 000 Hz 较为适宜. 为了能够更好的比较铁基金属玻璃和波莫合金之间的性能, 本实验选择 ω 的范围为 200~20 000 Hz.

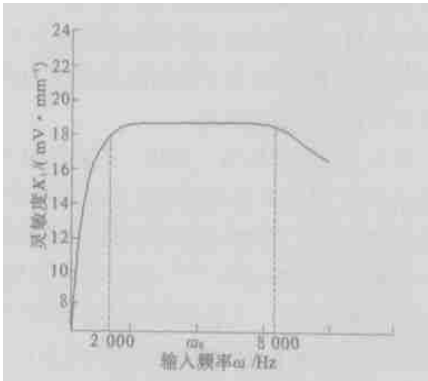


图 3 频率特性曲线
Fig. 3 Frequency trait curve

2 实验结果及分析

图 4 为电源电压 U_e 分别为 1V、2V、2.5V 时

铁基BMG 和波莫合金的灵敏度 K_i 与频率 ω 关系曲线(频率特性曲线)。

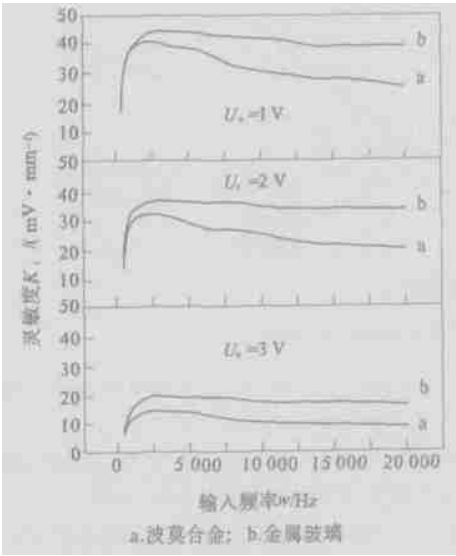


图 4 电源电压为 1 V、2 V、2.5 V 时的频率特征曲线
Fig. 4 Frequency trait curve as the value of power is 1 V, 2 V, 2.5 V respectively

从图 4 中可以看出,在电源电压 U_e 分别为 1, 2 和 2.5 V 时,用金属玻璃作磁芯传感器的灵敏度 K_i 最大值分别为 19.3, 36.6 和 45.0 $\text{mV} \cdot \text{mm}^{-1}$,而波莫合金的最大仅为 14.1, 32.2 和 41.2 $\text{mV} \cdot \text{mm}^{-1}$;这表明无论电源电压 U_e 是 1 V、2 V 还是 2.5 V,用金属玻璃作磁芯传感器的灵敏度都比采用波莫合金高.并且随着输入频率 ω 的增大,采用金属玻璃作磁芯的传感器的频率特性曲线平坦部分维持的更长,下降的坡度也更小.这表明采用金属玻璃作铁芯材料的传感器稳定性更好,信噪比更大,铁损也更小.

将电源电压为 1 V 时采用金属玻璃作磁芯的

传感器的频率特性曲线放大,选择曲线的平坦部分的 ω 从 3 500 Hz 到 4 000 Hz,如图 5 所示.

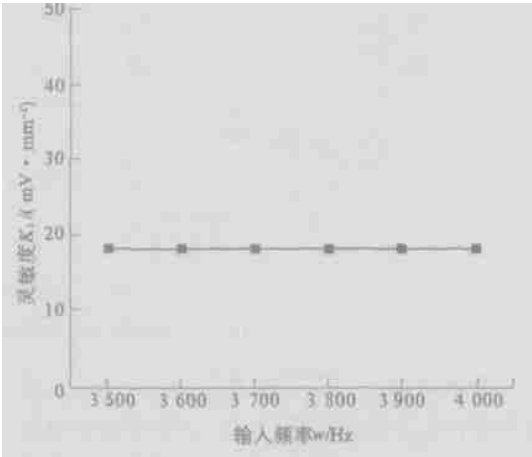


图 5 电源电压为 1 V 时金属玻璃的频率特性曲线
Fig. 5 Frequency trait curve of metallic glass as the value of power is 1 V

从图 5 中可以看到,当输入频率从 3 500 Hz 增加到 4 000 Hz 时,灵敏度 K_i 基本没有变化.这说明它的稳定性是很好的.

为了进一步验证上述结论,选择输入频率为 4 000 Hz,电源电压 U_e 分别为 1 V、2 V、2.5 V 时,测量位移与输出电压之间的关系,如图 6 所示.

从图中可以看到,不管是金属玻璃还是波莫合金,电源电压从 1 V 到 2.5 V,测量位移 S 与输出电压之间基本上都是线性关系.这说明在输入频率 ω 符合设计要求或者说不是太高的情况下,差动式变压器式传感器无论采用波莫合金还是金属玻璃作为铁芯都具有很高的准确度,但是当输入频率 ω 增大到 10 000 Hz 时,如图 7 所示.

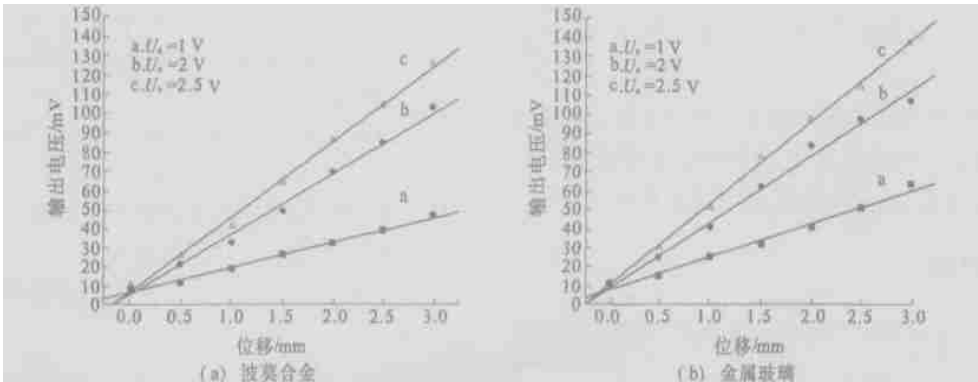


图 6 位移与输出电压之间的关系
Fig. 6 Relationship between displacement and export power

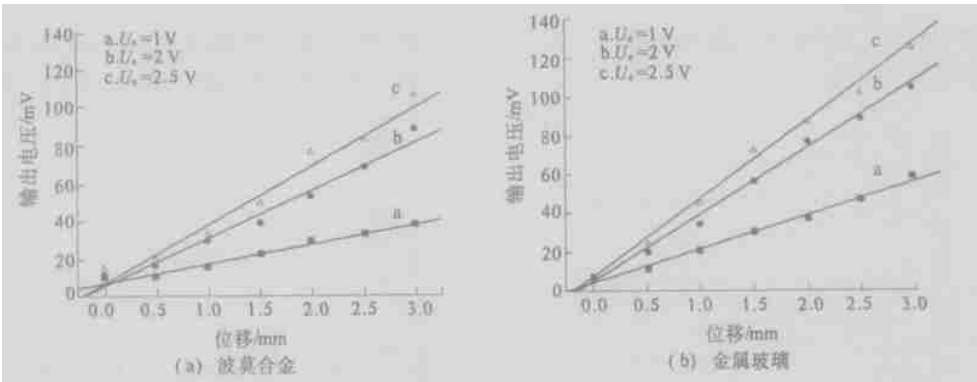


图 7 位移与输出电压之间的关系

Fig. 7 Relationship between displacement and export pressure

随着电源电压从 1 V 增大到 2.5 V 时,用金属玻璃作为传感器铁芯,测量位移与输出电压之间的关系依然保持了很好的线性,而波莫合金则不然.这是由于 $(\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50})_{72}\text{B}_{20}\text{Si}_{4}\text{Nb}_4\text{BMG}$ 其导磁率高、磁感应强度高的缘故,而波莫合金的则引起了输出电压信号的漂移,进入了非线性区域,这表明波莫合金的磁通达到饱和状态,导致磁通密度太大,传感器的工作将不正常.另外,由金属玻璃制成的磁芯尺寸较之波莫合金更小,这样电阻率高,涡流损耗小,因此能把电流的重复频率取得比较高,从而有效地扩展了传感器的频率响应范围.

3 结论

(1) 在电源电压 U_e 分别为 1 V、2 V 和 2.5 V 时,采用铁基 BMG($\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50})_{72}\text{B}_{20}\text{Si}_{4}\text{Nb}_4$ 作为磁芯的差动变压器式传感器的灵敏度 K_t 最大值分别为 19.3, 36.6 和 45.0 $\text{mV} \cdot \text{mm}^{-1}$, 均比采用波莫合金作磁芯的高.

(2) 随着输入频率 ω 的增大,采用金属玻璃作磁芯的传感器的频率特性曲线平坦部分维持的更长,下降坡度也更小.这表明采用金属玻璃作铁芯的传感器稳定性更好、信噪比更大、铁损也更小.

(3) 可以用铁基块状金属玻璃作为铁芯做测量微小位移的传感器,它的测量精确度应该更高、灵敏度更高、稳定性更好、线性范围更广.

参考文献:

[1] LI F S,ZHANG T,GUAN S K,et al. $(\text{Fe},\text{Co})\text{-Zr-Nb-B}$

bulk amorphous alloys with good soft magnetic properties [J] *Intermetallics*, 2004, 12: 139~142.

[2] 汪金龙,李福山,余杏生,等.材料工程测试技术 [M]. 郑州:河南科学技术出版社,1996.

[3] 王秀兰,路战红.非晶态合金位移传感器的研制[J]. 沈阳工业大学学报,1998,20(1): 79~81.

[4] 郭贻诚,王震西.非晶态物理 [M]. 北京:科学出版社,1984.

[5] WEN H Ko. The future of sensor and actuator systems[J]. *Sensors and Actuators A*, 1996, 56(1, 2): 193~197.

[6] 刘敬旗,方鑫,孙仙奇,等.提高非晶态铁芯性能的研究[J]. 材料科学与工艺,1996,4(1): 15~19.

[7] 李志华,陈文智.配电变压器用铁基非晶合金成分的研究[J]. 金属功能材料,1999,6(6): 262~265.

[8] 李志华.配电变压器用铁基非晶合金最新进展[J]. 金属功能材料,2000,7(5): 16~20.

[9] 国文.用铁基非晶合金膜制作磁弹性应变传感器[J]. 金属功能材料,2000,7(5): 15.

[10] CHIRIAC H,OVARI T A,POP Gh,et al. Amorphous glass covered magnetic wires for sensing applications[J]. *Sensors of and actuators A:Physical*, 1997, 59(1~3): 243~251.

[11] CHIRIAC H,PLETE M,HRISTOFOROU E. Fe based amorphous thin film as a magnetoelastic sensor material [J]. *Sensors and actuators A:Physical*, 2000, 81(1~3): 166~169.

[12] 潘宗预.差动变压器式传感器在包装机械中的应用[J]. 包装工程,1998,19(6): 42~45.

[13] 雷霖.微机自动检测系统及技术研究[J]. 仪表技术与传感器,1999,(1): 22~24.

(下转第 51 页)

ties of metastable materials[J]. Mater Sci & Engng, 1997, 18:226~228.

The Prepatation Technique of Rapidly Solidified Amorphous N₂₀Zr₁₀Al₇₀ Alloy

SHI Guang-xin¹, ZHANG Guo-sheng², GUAN Shao-kang¹, WANG Xi-ke¹, SHEN Ning-fu^{1,2}
(¹.College of Materials Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; ².College of Materials Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract :In this paper amorphous N₂₀Zr₁₀Al₇₀alloy ribbons are prepared by using the method of planer flow casting and adjusting the process parameters. XRD, TEM and SAED are used to testify the amorphous structure. The phase composition of the alloy under different solidification rates are analysed. The results indicate that, with the solidification rate increasing the crystals of N-Al and α -Al are restrained first, then the crystal of N_{0.3}Al_{1.7}Zr is prevented, and that of N₂Al₃ is checked at last, complete amorphous structure is obtained during the solidification of N₂₀Zr₁₀Al₇₀alloy.

Key words rapid solidification; N-Zr-Al alloy; amorphous structure

(上接第 48 页)

Work Characteristic of Sensor of which the Magnetic Core is Fe based Bulk Metallic Glass

LI Fu-shan, TIAN Gao-feng, LI Wan-zhao, DU Xue-shan
(College of Materials Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract :Differential transformer's sensor is applied in the industry production widely. For many stucture parameters which determine this sensor's export characteristic such as loop circle, the diameter of magnetic core, framework material and geometry figure. It is difficult to optimize system parameters. As a matter of fact, excellent export characteristic is ensured through choosing high quality materials and the high precision processing technique. The work characteristic of the sensor of which the magnetic core is (Fe₅₀Co₅₀)₇₃B₂Si₄Nb₄bulk metallic glass is studied in this paper. The experiment result shows that the sensitivity of sensor consisting of Fe based metallic glass is higher than that of the sensor consisting of Permalloy, and its stability is superior to the latter, the Signal to Noise is larger, the iron loss is less when the exciting power frequency ω is high, and that the size of magnetic core executed by metallic glass is small, the resistivity is high, eddy current loss is little, so the repeating rate of current is high, which enlarges the frequency response range of the sensor effectively.

Key words :Fe based bulk metallic glass; differential transformer's sensor; sensitivity; magnetic core