



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103018320 B

(45) 授权公告日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201210502825. 4

(22) 申请日 2012. 11. 30

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路  
301 号

(72) 发明人 鲍丙好

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 楼高潮

(51) Int. Cl.

G01N 27/83(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101216460 A , 2008. 07. 09, 全文 .

CN 101369484 A , 2009. 02. 18, 说明书第 2  
页第 1、3、5 段, 第 3 页倒数第 2 段, 附图 1 和 5.

CN 101430369 A , 2009. 05. 13, 全文 .

CN 202083672 U , 2011. 12. 21, 全文 .

CN 2705790 Y , 2005. 06. 22, 说明书第 2  
页倒数第 3 段, 附图 1.

JP 特开 2011-7570 A , 2011. 01. 13, 全  
文 .

李淑英 等 . Terfenol-D/PZT/Terfenol-D  
层状复合磁电传感器磁电效应 . 《电工技术学  
报》. 2010, 第 25 卷 (第 5 期), 第 14-19 页 .

闻凤连 等 . 新型磁传感器理论及其在  
钢板缺陷检测的应用 . 《仪表技术与传感  
器》. 2010, (第 2 期), 正文第 71 页右栏第 1-3 段,  
第 72 页左栏第 1 段, 图 3.

审查员 唐仕军

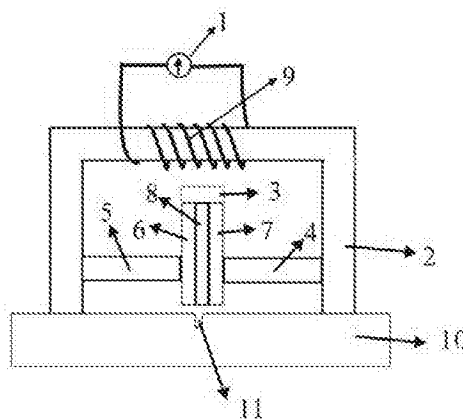
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

(54) 发明名称

用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器  
及检测方法

(57) 摘要

本发明公开一种用于铁磁材料缺陷无损检测  
的共振型磁电传感器及检测方法, U 型软磁件底  
段中间位置上绕有连接稳频稳幅激励电流源的磁  
化线圈、左、右两侧段之间设有磁电元件、永磁铁;  
磁电元件由个相同磁致伸缩材料块和一个压电材  
料块组成, 2 个磁致伸缩材料块分别固定粘贴于  
压电材料块的左、右两侧面上; 在磁电元件底端  
和 U 型软磁件底段的空隙之间设有固定连接磁电  
元件的永磁铁; 使交流励磁信号频率与磁电元件  
的共振频率相同; 将 U 型软磁件的左、右两侧段  
的顶端与被测件密合在一起并沿被测件表面移动,  
监测压电材料块上的银电极层的电压, 若有电压  
脉冲, 则被测件与磁电元件相面对的位置处有缺  
陷; 既可检测极弱的磁场, 亦可检测中等强度的  
磁场。



1. 一种用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器,包含一个U型软磁件(2),U型软磁件(2)底段的中间位置上绕有磁化线圈(9),其特征是:磁化线圈(9)连接稳频稳幅激励电流源(1),U型软磁件(2)的左、右两侧段之间设有磁电元件、永磁铁(3)以及支撑梁,磁电元件由2个相同的磁致伸缩材料块(6、7)和一个压电材料块(8)组成,2个磁致伸缩材料块(6、7)分别固定粘贴于压电材料块(8)的左、右两侧面上,压电材料块(8)的左右两侧面上覆有银电极层,压电材料块(8)及银电极层的底端均高于2个磁致伸缩材料块(6、7)的底端,2个磁致伸缩材料块(6、7)分别通过支撑梁固定连接U型软磁件(2)的左、右两段;在磁电元件的底端和U型软磁件(2)的底段的空隙之间设有固定连接磁电元件的永磁铁(3)。

2. 根据权利要求1所述的用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器,其特征是:2个磁致伸缩材料块(6、7)的顶端均与压电材料块(8)的顶端相平齐。

3. 根据权利要求1所述的用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器,其特征是:永磁铁(3)为圆柱形结构,其直径与磁电元件的左、右面之间的距离相等,其轴向顶端固定连接磁电元件底端。

4. 一种如权利要求1所述的用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器的检测方法,其特征是具有如下步骤:

A、检测出磁电元件的共振频率,在磁化线圈(9)中通入交变电流,并调试电流大小,使交流励磁信号频率与所述共振频率相同;

B、将U型软磁件(2)的左、右两侧段的顶端与被测件(10)密合在一起并沿被测件(10)的表面移动,使磁电元件与被测件(10)之间有小间隙;

C、监测压电材料块(8)上的银电极层的电压,若监测到有电压脉冲,则被测件(10)在与磁电元件相相对的位置处有缺陷。

## 用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器及检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及磁电传感器无损检测领域,具体是用于无损检测铁磁材料缺陷的磁电传感器。

### 背景技术

[0002] 输油管道、钢丝绳、钢板等铁磁材料在制造和使用过程中,由于摩擦、磨损、腐蚀等原因会产生如裂纹、孔洞、断丝等各种各样的缺陷,若不能及时检测出缺陷,可能会造成重大事故。

[0003] 目前,对铁磁材料缺陷无损检测方法有漏磁检测法、磁粉法、声波检测法和射线检测法等。其中漏磁检测法因信号处理电路简单和显示设备简单而被广泛使用,它特别适合于钢管裂缝及钢丝绳断丝检测,其核心部分是检测因材料缺陷而产生的漏磁的传感器,目前在漏磁检测中广泛使用的是基于霍尔效应的霍尔传感器,众所周知,霍尔传感器适合于对中等强度磁场的检测,对弱的漏磁场则难以检测,因此对微小缺陷检测难度较大。比霍尔传感器更灵敏的有磁通门传感器、SQUID等,但磁通门传感器未被用于漏磁检测领域,主要原因之一是它所检测的磁场量程小,而漏磁场可分布在较宽的范围内,磁通门仅对弱磁场敏感,故在漏磁检测中不用磁通门传感器,此外敏感体体积大,信号处理电路复杂也是磁通门传感器的缺点。SQUID可检测极弱的磁场如生物磁场,但SQUID由于它需在超导态下工作,且体积较大,因此它也不适合无损检测场合下漏磁场的检测。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是为克服上述现有技术的缺陷,提出一种可检测弱的漏磁场、容易对微小缺陷进行检测、检测磁场量程大且体积小的用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器,本发明同时还提出该共振型磁电传感器的检测方法。

[0005] 本发明用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器采用的技术方案是:包含一个U型软磁件,U型软磁件底段的中间位置上绕有磁化线圈,磁化线圈连接稳频稳幅激励电流源,U型软磁件的左、右两侧段之间设有磁电元件、永磁铁以及支撑梁,磁电元件由个相同的磁致伸缩材料块和一个压电材料块组成,2个磁致伸缩材料块分别固定粘贴于压电材料块的左、右两侧面上,压电材料块的左右两侧面上覆有银电极层,2个磁致伸缩材料块分别通过两个支撑梁固定连接U型软磁件的左、右两侧段;在磁电元件的底端和U型软磁件的底段的空隙之间设有固定连接磁电元件的永磁铁。

[0006] 本发明用于铁磁材料缺陷检测的共振型磁电传感器的检测方法采用的技术方案是具有如下步骤:A、检测出磁电元件的共振频率,在磁化线圈中通入交变电流,并调试电流大小,使交流励磁信号频率与所述共振频率相同;B、将U型软磁件的左、右两侧段的顶端与被测件密合在一起并沿被测件的表面移动,使磁电元件与被测件之间有小间隙;C、监测压电材料块上的银电极层的电压,若监测到有电压脉冲,则被测件与磁电元件相面对的位置处有缺陷。

[0007] 本发明的优点是：

[0008] 1、本发明利用层合材料磁电效应原理实现检测，利用磁电效应的磁电元件作为检测漏磁的磁场传感器，检测被检材料有缺陷时产生的交变漏磁场；由磁致伸缩材料和压电材料构成的层合复合材料具有磁电效应，且有磁共振特性，利用其具有的共振特性，共振时可极大地提高磁灵敏度。

[0009] 2、磁致伸缩材料块与极化的压电材料块构成可检测交变磁场，永磁铁为磁致伸缩材料块提供优化的静态偏置磁场，使磁致伸缩材料提供尽可能大的磁伸量，采用与共振频率相同的励磁频率对被测的钢管、钢板进行激励，磁电元件检测出因被测材料缺陷而产生的漏磁，既可检测极弱的磁场，亦可检测中等强度的磁场，具有极宽的磁场检测范围。

[0010] 3、磁敏元件无需供电即可将磁信号变成电信号。

[0011] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细描述。

### 附图说明

[0012] 图 1 是本发明的结构及其检测状态图；

[0013] 图 2 是图 1 中磁电元件的放大的主视图；

[0014] 图 3 是图 2 的俯视图；

[0015] 图 4 是图 1 中永磁铁的放大的主视图；

[0016] 图 5 是图 4 的俯视图。

[0017] 图中：1- 稳频稳幅激励电流源；2-U 型软磁件；3- 永磁铁；4、5- 支撑梁；6、7- 磁致伸缩材料块；8- 压电材料块；9- 磁化线圈；10- 被测件；11- 被测件缺陷处。

### 具体实施方式

[0018] 参见图 1，本发明包含一个 U 型软磁件 2、一个磁化线圈 9 和一个磁电元件，U 型软磁件 2 是由连续的底段和左、右两侧段围成的 U 型结构，在 U 型软磁件 2 的底段的中间位置上绕有磁化线圈 9，磁化线圈 9 的两端接入稳频稳幅激励电流源 1，磁化线圈 9 由稳频稳幅激励电流源 1 提供电流，使磁化线圈 9 产生交流励磁。

[0019] 在 U 型软磁件 2 的左、右两侧段之间设置磁电元件、永磁铁 3 以及支撑梁，永磁铁 3 由具有极高磁能积的 NdFeB 永磁材料制成，支撑梁将磁电元件固定连接在 U 型软磁件 2 上。磁电元件由 2 个相同的磁致伸缩材料块 6、7 和一个压电材料块 8 组成，压电材料块 8 的左右两侧面上分别固定粘贴一个磁致伸缩材料块 6、7，即将压电材料块 8 置于中间，2 个磁致伸缩材料块 6、7 分别位于压电材料块 8 的左、右两侧面上，通过粘贴形成磁电元件；压电材料块 8 的左右两侧面上覆有银电极层，银电极层上制作引线，通过引线引出，压电材料块 8 在左右方向经电场极化。2 个磁致伸缩材料块 6、7 分别通过两个支撑梁 5、4 固定连接 U 型软磁件 2 的左、右两侧段上。

[0020] 磁电元件的底端和 U 型软磁件 2 底段之间留有空隙，在磁电元件的底端固定永磁铁 3，使永磁铁 3 位于磁电元件的底端和 U 型软磁件 2 底段的空隙之间。

[0021] 如图 2-3 所示，磁电元件中的 2 个磁致伸缩材料块 6、7 的顶端与压电材料块 8 的顶端相平齐，2 个磁致伸缩材料块 6、7 的前、后侧面也与压电材料块 8 的前、后侧面分别相平齐。将压电材料块 8 的底端设计成略高于 2 个磁致伸缩材料块 6、7 的底端，其目的是方便

引线引出。

[0022] 如图 4-5 所示,永磁铁 3 为圆柱形结构,其直径与磁电元件的左、右面之间的宽度距离相等,其轴向顶端与压电材料块 8 的底端相配,套在压电材料块 8 的底端上。

[0023] 检测时,将 U 型软磁件 2 的左、右两侧段的顶端同时与待测的被测件 10 密合在一起,磁电元件与被测件 10 应具有小间隙。测出磁电元件的共振频率,不是每次检测都要测共振频率,第一次测出结果即可,此后一直用此频率。在磁化线圈 9 中通入交变电流,调试通入磁化线圈 9 的电流大小,使磁化线圈 9 产生的交流励磁信号频率与磁电元件的共振频率相同,被测件 10 用共振频率进行励磁,由永磁铁 3 提供沿轴向的偏置磁场,对被检测的钢管或钢板等被测件 10 采用交流磁场励磁,磁场被磁致伸缩材料块 6、7 导入被测的铁磁材料被测件 10 中,铁磁材料被测件 10 被磁化。将 U 型软磁件 2 在被测件 10 的表面移动,同时监测压电材料块 8 左右两侧的银电极层的电压,若监测到有电压脉冲,说明检测到缺陷处产生漏磁场,引起磁电元件产生一突变信号,则被测件 10 与磁电元件相相对的位置处有缺陷,即检测出被测件缺陷处 11。而无缺陷的材料不会出现突变信号。

[0024] 以下是本发明的一个实施例:

### 实施例

[0025] 如图 1-5 所示,制作一长为 12.5mm、宽为 16mm、厚度为 3mm 的磁电元件。磁电元件所用的每个 Terfenol-D 材料的磁致伸缩材料块 6、7 的长  $h_m=12\text{mm}$ ,宽  $w=6\text{mm}$ ,厚  $t_m=2\text{mm}$ ;所用的 PZT5A 材料的压电材料块 8 的长  $h_p=12.5\text{mm}$ ,其宽、厚与磁致伸缩材料 6、7 相同。用直径  $R=6\text{mm}$ 、高为  $w_m=4\text{mm}$  的 NdFeB 材料的永磁铁 3 置于磁电元件的一端,实现对磁致伸缩材料块 6、7 的偏置磁化,偏置磁场沿磁电元件的长度方向。磁电元件是将极化的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$  (PZT5A) 材料与 Terfenol-D (TbDyFe) 材料经环氧树脂胶粘贴而成。支撑梁 4、5 采用有机玻璃材料制作。

[0026] 励磁信号由幅值及频率可调的任意信号发生器产生,调节励磁频率使其得到共振频率,传感器检测信号送示波器上显示,当被测件 10 存在缺陷时可观察到幅值显著增强的交变信号。测量时将 U 型软磁件 2 的左、右侧面的顶端面紧贴被测钢板表面,钢板被导入的交变磁场励磁,若钢板上含缺陷(如缝隙),则在缝隙处产生漏磁,磁电元件可检测该漏磁,产生对应缝隙处输出电压信号,因此若磁电元件有输出信号,说明该处有缺陷。因磁电元件工作于共振频率,具有极高的输出磁灵敏度,因此可实现对微小缝隙的检测。

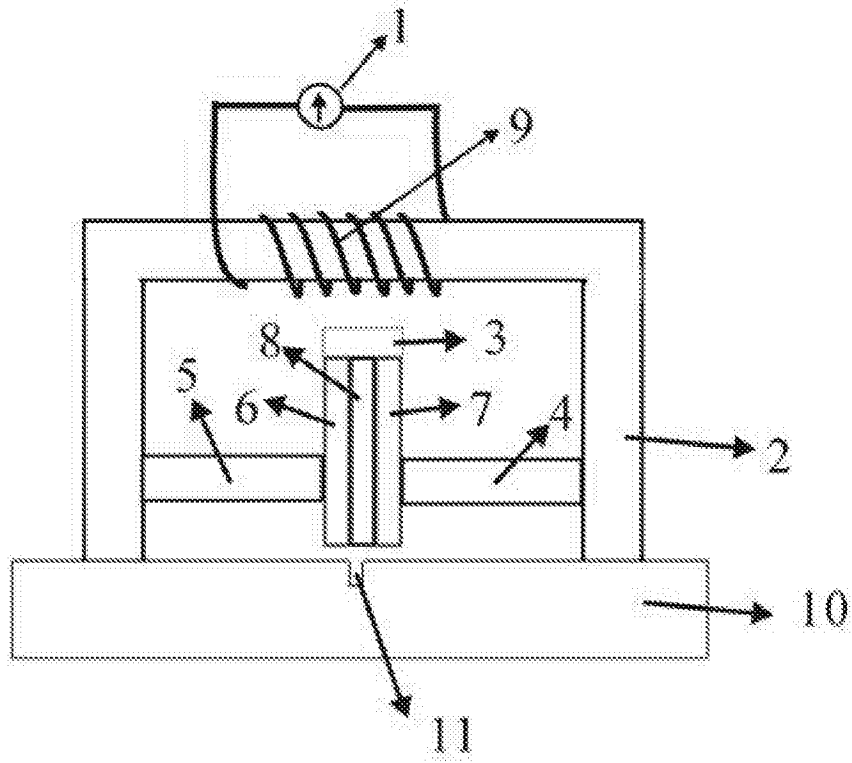


图 1

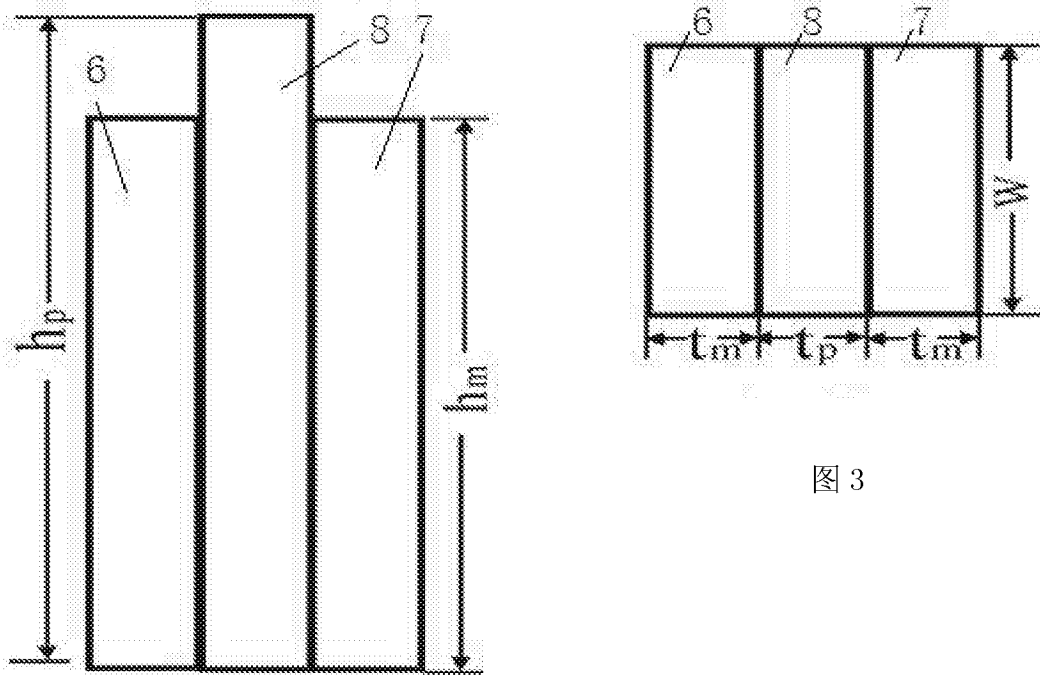


图 3

图 2

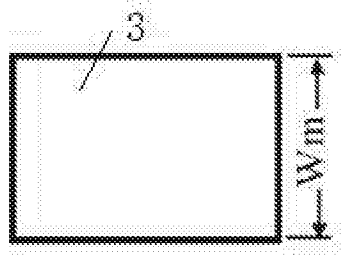


图 4

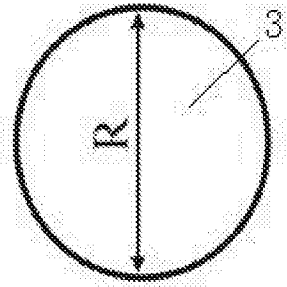


图 5