



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103990592 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 20

(21) 申请号 201410238908. 6

(22) 申请日 2014. 05. 30

(71) 申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街 5 号

(72) 发明人 周世圆 戴维 徐春广 肖定国
郝娟 付君强

(51) Int. Cl.

B06B 1/06 (2006. 01)

G01N 29/04 (2006. 01)

G01N 29/34 (2006. 01)

G01N 29/36 (2006. 01)

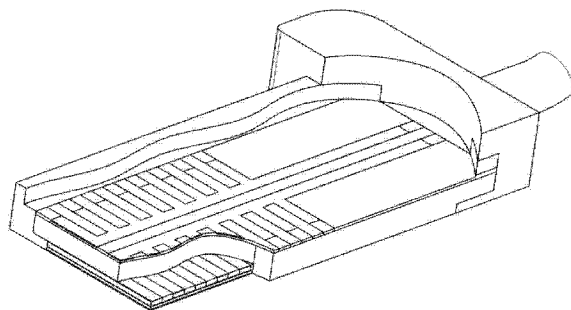
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种适用于曲面板管类零件检测的柔性梳状导波换能器

(57) 摘要

本发明涉及了一种柔性梳状导波换能器, 所述换能器为激励 / 接收一体接触式超声换能器。换能器包括多个条形压电振子梳状阵列、吸声填充物、背衬吸声层、匹配层、保护膜、电路板、外套、同轴电缆、接头和电缆固定外壳, 其中柔性梳状压电阵列、柔性吸声填充物、柔性背衬吸声层、柔性匹配层、柔性保护膜和柔性电路板形成柔性换能器主体。由于换能器具有柔性结构, 适用于任意复杂曲面板、管类零件缺陷的快速无损检测。换能器总体尺寸不超过 $6\text{mm} \times 15\text{mm} \times 30\text{mm}$ (高 \times 宽 \times 长), 可伸入狭小空间或贴装在密闭空间的零构件表面, 实现快速原位检测或嵌入式检测。通过选择激励适当的导波模式, 减小包覆层及管内运载液体的影响, 特别适合于运载有液体的管线的在线检测。



1. 一种特别适用于曲面板、管类零件缺陷检测的柔性梳状导波换能器,其特征在于:至少包括2个以上多个条形压电振子,一般为4到8个条形压电振子,多个条形压电振子沿宽度方向排列形成梳状阵列结构。

2. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:柔性压电陶瓷复合材料压电振子梳状阵列,柔性吸声填充物、柔性背衬吸声层、柔性匹配层、柔性保护膜、柔性电路板和柔性外套构成所述导波柔性梳状换能器的柔性结构,使其可以与各种曲面板壁、管壁良好耦合,实现曲面板、管缺陷的检测。

3. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:柔性电路板中的布线将各条形压电振子的正极并联汇集形成换能器的正极、负极并联汇集形成换能器的负极,并引出,通过对换能器梳状阵列的所有压电振子同时施加电激励,如周期脉冲激励或正弦串激励,在被测曲面板、管壁厚范围内激励出沿阵列排列方向传播的导波。

4. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:换能器梳状阵列的各条形压电振子宽度 d 为被测试样相应导波模式相速度波长的二分之一,振子与振子之间的间隙 s 亦为被测试样相应导波模式相速度波长的二分之一,振子与振子之间的中心间距 w 为被测试样相应导波模式相速度波长,梳状阵列总长度 D :(振子间中心间距 $w \times$ 振子个数 $n -$ 振子间隙 s),振子长度 l 为梳状阵列总长度 D 的 0.618 倍并取整,即:取整(梳状阵列总长度 $D \times 0.618$),一般振子长度 l 与宽度 d 之比不超过 10:1。

5. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:为保护柔性电路板焊盘与同轴电缆焊接点的持久可靠连接,在柔性电路板与同轴电缆连接处安装刚性电缆固定外壳。

6. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:为保证换能器主体与曲表面完全贴合,柔性保护套在柔性梳状换能器主体边缘与刚性电缆固定外壳间具有一定宽度,宽度一般为 10 ~ 30mm。

7. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:该换能器耦合在被测曲面板壁一侧或管外表面可检测整个壁厚范围内的缺陷,一次 A 扫描可以完成被测试样沿阵列排列方向整体尺寸 \times 振子长度 \times 壁厚区域范围内的检测,仅沿振子长度方向或圆周方向进行一维扫描即可完成整个被测试样的检测,可实现变曲率复杂曲面板或管的快速扫描检测。

8. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:换能器总体尺寸小于 $6\text{mm} \times 15\text{mm} \times 30\text{mm}$ (厚 \times 宽 \times 长),可以深入狭小空间或贴装在密闭空间的零构件表面,实现快速原位检测或嵌入式检测。

9. 根据权利要求1所述的柔性梳状导波换能器,其特征在于:可以通过选择激励适当的导波模式,减小包覆层及管内运载液体的影响,特别适合于具有防腐包覆层、埋地或运载有液体的管线的在线检测。

一种适用于曲面板管类零件检测的柔性梳状导波换能器

一、技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于激励和接收导波的柔性梳状换能器,特别适用于任意复杂曲面板、管类零件的无损检测和嵌入式原位无损检测。

二、背景技术

[0002] 曲面板管类零件广泛应用于国民经济生产生活的各个领域。航空、航天、能源领域旋转机械中采用大量具有复杂曲面板类形状的叶片、涡流盘等关键零构件,其材料要求特殊,机加工、热处理工艺复杂,工作环境恶劣,周期性载荷高,受力情况复杂,腐蚀性冲击多,工作时间长,在生产、工作过程中极易形成各种类型的缺陷。由于其通常在机器运转中承担着关键性作用,因此在该类复杂关键零构件的生产制造和在役过程中,需对其表面缺陷进行严格无损检测与监测,对保障各工业领域关键装置的安全运行具有重大意义。在国民经济生产、生活中大量采用各种管线,承担着各种液体的运载功能,由于高压、腐蚀工作环境,及现有管线在役时间长等因素,近年来时常会出现由于缺陷引发的管线爆裂事故发生,急需对其进行快速、定期原位无损检测。

[0003] 复杂曲面板类零件由于表面曲率不等,表面形貌复杂,采用传统的超声无损检测方法很难实现其快速检测,且检测成本大大增加。如对叶片、机翼类三维曲面零件进行检测时,若采用传统超声 C 扫描进行检测,需采用 5 轴联动装置进行扫查,方能完成扫查检测,费时费力、检测效率极低、成本高,且表面盲区大、无法全面检测出表面微裂纹。若采用目前常用斜楔式导波换能器,由于其斜楔为刚性其尺寸较大,无法与曲表面进行贴合,无法保证激励导波所需的入射角,耦合效果差,检测信号能量转换率和检测灵敏度极差。因此,急需开发一种能够适用于复杂曲面表面裂纹缺陷检测的导波换能器,这种换能器应能贴合复杂曲表面,且具有安装简单、体积小等特点,能够满足曲面构件表面的快速或嵌入式原位无损检测需求。各种管线安装时一般采用架空、埋地形式,或铺设在狭小密闭空间内,不利于检测人员进行操作,也急需一种适用于原位或嵌入式快速无损检测手段。

[0004] 国家知识产权局公开了一篇公开号为 CN103157594A 的专利:“一种柔性超声相控阵阵列换能器及制作方法”,目前该专利处于实质审查状态,该专利描述了一种柔性超声相控阵阵列换能器及其制作方法,所述换能器包括柔性压电陶瓷复合材料晶片、阻尼背材、匹配层、柔性线路板、同轴电缆线和探头接口;所述匹配层、柔性压电陶瓷复合材料晶片和阻尼背材依次粘接在一起形成声学叠层;所述柔性线路板与柔性压电陶瓷复合材料晶片连接,并从柔性线路板引出多芯同轴电缆线到所述探头接口。公开号为 CN101152646A 的专利:“柔性超声换能器阵列及其应用装置”,目前该专利已授权,该专利描述了一种柔性超声换能器阵列,该超声换能器的超声换能器单元、超声发射器/超声发射接收器、超声耦合介质、微处理器、及柔性层介质,该超声换能器单元以阵列形式安置于该柔性层介质中或表面而构成柔性超声换能器阵列,柔性超声换能器阵列能够贴合各种具有不同表面形状的身体部位,从而能够获得现有技术无法达到的超声治疗/超声成像效果。上述两种柔性阵列换能器均是通过对阵列中的不同压电振子单元施加具有一定延时的脉冲激励,在被测试样内

部沿柔性层法向方向激励具有电子聚焦扫描特点的纵向体波,而不能在板管类零件中激励沿板延展方向或管轴线方向传播的导波。

三、发明内容

[0005] 本发明提供了一种特别适用于曲面板、管类零件整体壁厚范围内缺陷检测的柔性梳状导波换能器,具有能够贴合曲表面、厚度小的特点,可以实现曲面板、管类零件壁厚范围内缺陷的快速或嵌入式原位无损检测。

[0006] 该导波换能器至少包括 2 个以上多个条形压电振子,一般为 4 到 8 个条形压电振子,多个条形压电振子沿宽度方向排列形成梳状阵列结构。各压电振子之间的中心间距 w 为被测试样相应导波模式的相速度波长,即期望在被测试样中激励的某种模式的导波相速度与换能器中心频率之比,该导波相速度受换能器频率与被测板或管厚度乘积和期望激励的导波模式控制,可以从导波频散曲线中获得。通过对换能器的所有压电振子同时施加电激励,如周期脉冲激励或正弦串激励,在被测曲面板或管壁内激励出沿柔性层内阵列排布方向传播的导波。

[0007] 如图 2 所示,该导波换能器包括多个条形压电振子 (1)、正负电极 (2)、吸声填充物 (3)、背衬吸声层 (4)、匹配层 (5)、保护膜 (6)、电路板 (7)、外套 (8)、电缆固定外壳 (9)、同轴电缆 (10)、接头 (11),其中多个压电振子规则排列形成阵列,如图 1 所示。压电振子采用柔性压电陶瓷复合材料,吸声填充物、背衬吸声层、匹配层、保护膜和电路板均采用柔性材料,以保证换能器能够适应曲表面,与之完全贴合。

[0008] 如图 2 所示,条形柔性压电振子宽度 d 为被测试样相应导波模式相速度波长的二分之一,振子与振子之间的间隙 s 亦为被测试样相应导波模式相速度波长的二分之一,振子与振子之间的中心间距 w 为被测试样相应导波模式相速度波长。振子长度 l 为梳状阵列总长度 D 的 0.618 倍并取整,即:取整 $[(\text{振子间中心间距 } w \times \text{振子个数 } n - \text{振子间隙 } s) \times 0.618]$,一般振子长度 l 与宽度 d 之比不超过 10:1。

[0009] 本导波换能器为接触式换能器,使用时通过耦合剂与被测试样表面耦合。该换能器为激励/接收一体换能器,可采用周期性脉冲信号或正弦串进行激励,检测系统如图 3 所示,包括:柔性梳状导波换能器、超声信号激励接收装置、AD 转换器、计算机和被测试样。

[0010] 板类检测时,将研制导波换能器耦合在曲面板一侧表面,导波在板壁厚范围内沿阵列排列方向传播,遇到被测板壁厚范围内缺陷时会产生缺陷回波,根据缺陷回波的有无可判断被测板壁厚范围内是否存在缺陷。该换能器安装于板壁一侧表面可以检测出整个壁厚范围内的缺陷,一次 A 扫描可以完成如图 3(12) 点划线范围所示试样整个壁厚内的检测,即沿阵列排列方向 \times 振子长度 \times 壁厚范围内的检测,仅沿振子长度方向进行一维扫描即可完成整个板的检测,可实现变曲率复杂曲面的快速扫描检测。图 4 为研制的导波换能器接收到的缺陷反射导波。

[0011] 管类检测时,将梳状阵列导波换能器耦合在管外表面,使梳状阵列排布方向与管母线重合,导波在管壁内沿母线传播,遇到被测管壁厚范围内缺陷,产生缺陷回波,根据缺陷回波的有无可判断被测管壁内是否存在缺陷。该换能器安装于管外表面可以检测出整个管壁范围内的缺陷,一次 A 扫描可以完成如图 3(13) 点划线范围所示管壁内的检测,即母线 \times 振子长度 \times 壁厚范围内的检测,仅沿管周向进行一维扫描即可完成整个管的检测,可

实现管线的快速扫描检测。

[0012] 本发明的的优点在于：

[0013] 1. 本发明研制的换能器具有柔性结构,适用于检测变曲率曲面板和管类零件；

[0014] 2. 本发明研制的换能器总厚度不超过 6mm,可伸入狭窄空间检测,且特别适用于嵌入式贴合安装在狭小空间或封闭空间中的零构件表面上或架空、埋地铺设的管线上,以实现关键易损在役件和在役管线的原位检测或实时监测。

[0015] 3. 本发明研制的换能器,可以通过选择激励适当的导波模式,减小包覆层及管内运载液体的影响,特别适合于具有防腐包覆层、埋地或运载有液体的管线的在线检测。

[0016] 4. 快速扫描检测,需一维移动就可完成整个曲面的检测。

四、附图说明

[0017] 图 1 为一种柔性梳状导波换能器整体结构示意图。

[0018] 图 2 为一种柔性梳状导波换能器组成图。

[0019] 图 3 为一种柔性梳状导波换能器检测系统示意图。

[0020] 图 4 为缺陷反射导波信号。

[0021] 图 5 为板、管相速度频散曲线。

五、具体实施方式

[0022] 该导波换能器至少包括 2 个以上多个条形压电振子,一般为 4 到 8 个条形压电振子,多个条形压电振子沿宽度方向排列形成梳状阵列结构。

[0023] 压电振子采用柔性 1-3 型压电陶瓷复合材料。根据压电振子设计原则,将压电振子层制备为中心频率为期望频率的纵振压电振子层。制备柔性匹配层,其厚度为匹配层纵波波长的四分之一。将柔性压电振子与柔性匹配层贴合安装,形成压电-匹配叠层。

[0024] 如图 5 所示根据期望激励的导波模式、换能器频率与被测试样壁厚乘积,由板或管导波相速度频散曲线获得期望激励的导波模式的相速度 C_p 。

[0025] 切割压电-匹配叠层,切割深度为压电振子层厚度,即将压电振子层切割为条形压电振子梳状阵列。如图 2 所示,条形柔性压电振子宽度 d 为期望激励导波模式相速度波长的二分之一,振子与振子之间的间隙 s 亦为期望激励导波模式相速度波长的二分之一,振子与振子之间的中心间距 w 为期望激励导波模式相速度波长,梳状阵列总长度 D :(振子间中心间距 $w \times$ 振子个数 n - 振子间隙 s),振子长度 l 为梳状阵列总长度 D 的 0.618 倍并取整,即:取整(梳状阵列总长度 $D \times 0.618$),一般振子长度 l 与宽度 d 之比不超过 10:1。

[0026] 在梳状阵列上贴合柔性背衬吸声层,并使用柔性吸声填充材料填充梳状阵列间间隙,在匹配层外侧贴合柔性保护膜。在背衬吸声层外侧贴合柔性电路板,并连接电极,形成柔性梳状导波换能器主体。

[0027] 如图 1 所示,其中柔性电路板将各条形压电振子的正负极分别并联汇集,形成换能器的正负极,并引出。

[0028] 将换能器正负极与同轴电缆的正负极焊接,在柔性梳状导波换能器主体除保护膜一侧以外的其他 5 个表面安装柔性外套,并在柔性电路板与同轴电缆连接处安装刚性电缆固定外壳,以保护连接点。为保证柔性梳状导波换能器主体能完好贴合在曲表面上,柔性梳

状导波换能器主体边缘与刚性电缆固定外壳间应具有一定宽度的柔性保护外套,宽度一般为 10 ~ 30mm。最后在同轴电缆的末端焊接安装同轴电缆标准通用接头,如 BNC、SMA、UHF 等。

[0029] 本导波换能器可以用作激励 / 接收一体换能器,或作为导波的激励或接收换能器。作为激励 / 接收换能器检测时,如图 3 所示,导波换能器与被测试样一侧表面耦合,将换能器接头连接至超声信号激励 / 接收装置,激励 / 接收装置的信号输出端接示波器或经模数转换装置接计算机。换能器在周期性脉冲或正弦串信号的激励下,在试样壁厚范围内激励出期望的导波。导波沿柔性层内阵列排布方向传播,经缺陷或表面边缘反射后,由换能器接收,经超声信号激励 / 接收装置的前置处理,数模转换装置将其转换为数字信号后,由计算机进行显示成像。换能器沿表面一维扫查后,可完成被测试样壁厚范围内的快速检测。换能器总体尺寸小于 6mm×15mm×30mm,可以深入狭小空间或贴装在密闭空间的零构件表面,实现快速原位检测或嵌入式检测。通过选择适当的导波模式,减小包覆层及管内运载液体的影响,本导波换能器可用于具有防腐包覆层、埋地或运载有液体的管线的在线检测。

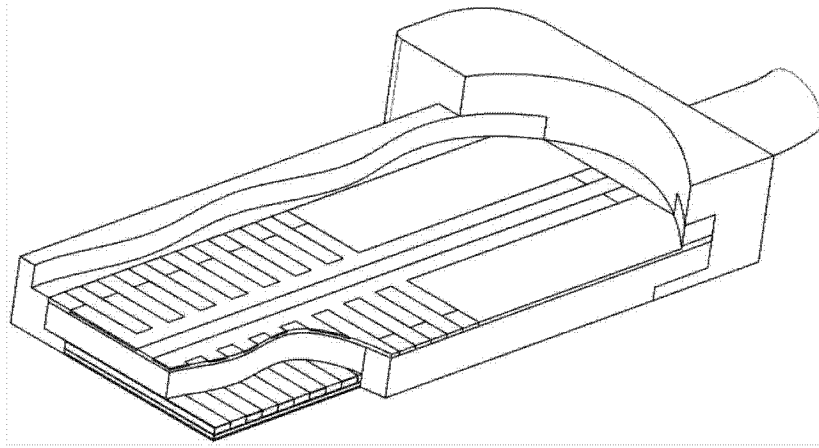


图 1

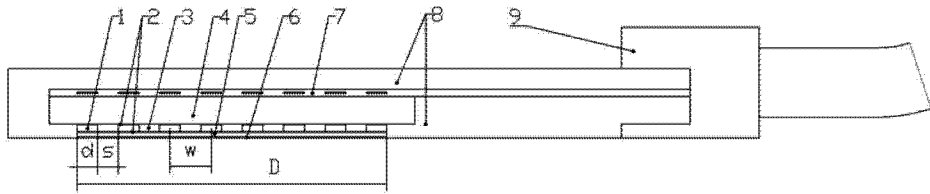


图 2

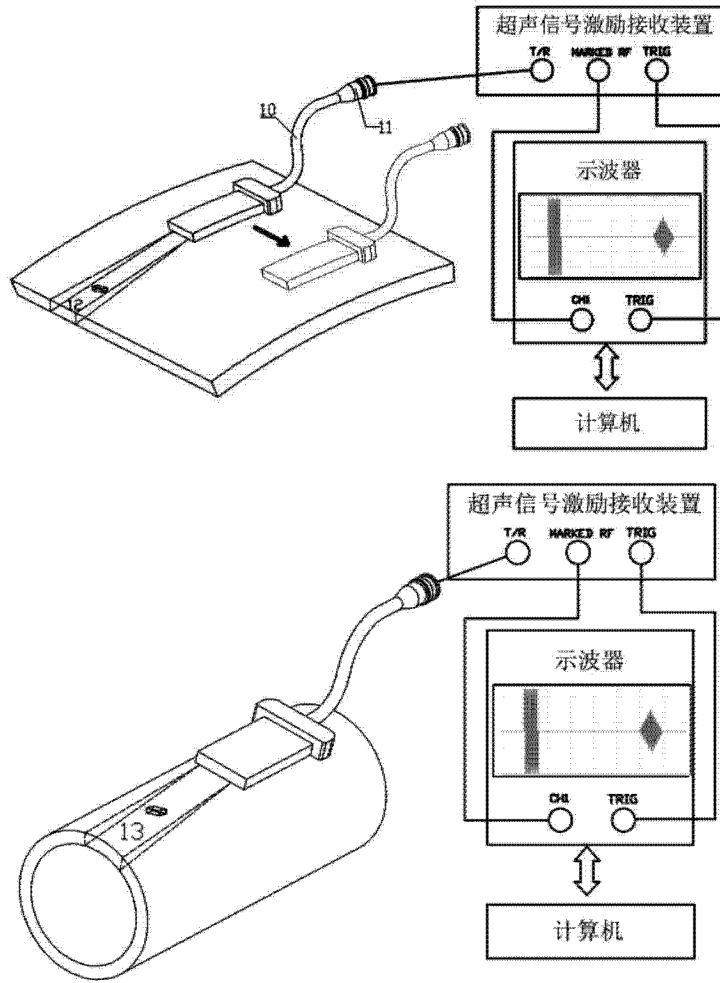


图 3

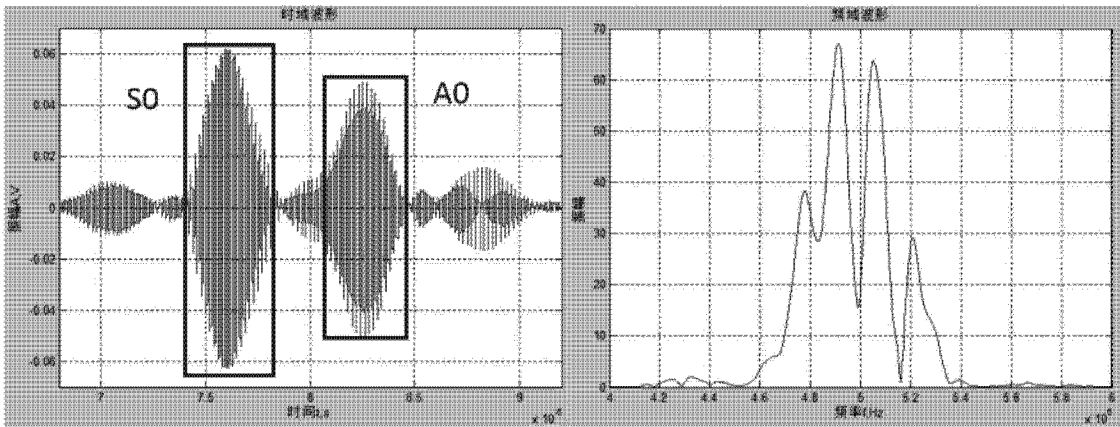


图 4

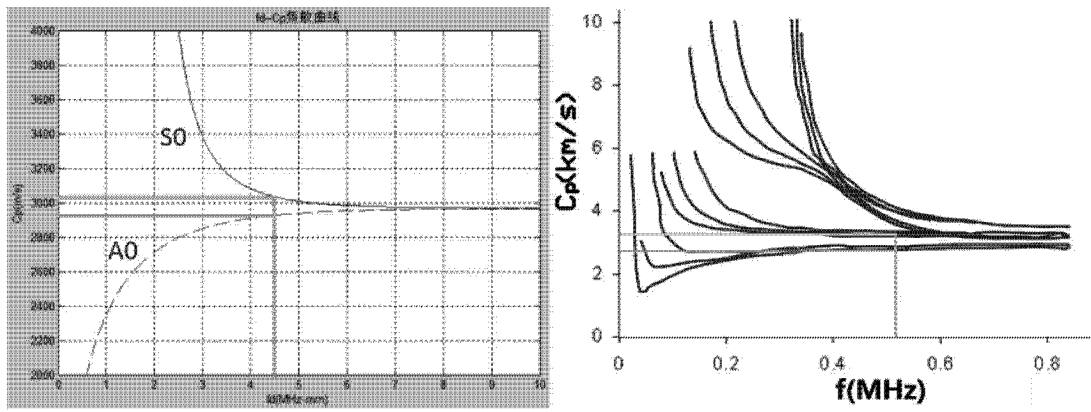


图 5