



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103760243 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201410065059. 9

(22) 申请日 2014. 02. 26

(71) 申请人 长沙理工大学

地址 410114 湖南省长沙市雨花区万家丽南路二段 960 号

(72) 发明人 王向红 向建军 尹东 胡宏伟

(51) Int. Cl.

G01N 29/14 (2006. 01)

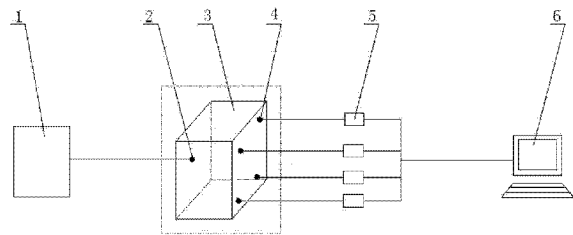
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种微裂纹无损检测装置及方法

(57) 摘要

本发明公开一种微裂纹超声-声发射无损检测装置及方法,涉及用超声波发射装置产生激励源,再由声发射技术检测构件中的微裂纹损伤,即:用超声波发射装置在构件表面发出激励源,用声发射采集处理系统对信号进行采集、放大并进行信号处理分析,得出信号的非线性特征参数,从而判断被测构件是否存在微裂纹损伤及损伤的程度。所用装置包括超声波发射装置、声发射传感器、前置放大器和声发射采集分析系统。本发明将超声波技术与声发射技术结合,构建了一种具有静态缺陷检测和动态缺陷检测功能的无损检测系统,实现构件微裂纹检测,并快速对构件进行整体评价,克服了现有声发射方法无法检测静态缺陷及超声波检方法测效率低、难以捕捉微小裂纹的不足。



1. 一种微裂纹无损检测装置,包括超声波发生器 1,超声波探头 2,被测构件 3,超声波发生器 1 通过超声波探头 2 与被测构件 3 相连,其特征在于:还包括一声发射装置,所述声发射装置包括声发射采集分析系统 6、与所述被测构件 3 相连的声发射传感器 4、与所述声发射采集分析系统 6 和所述声发射传感器 4 相连的前置放大器 5,所述超声波探头 2 与所述被测构件 3 之间填有耦合剂 8,所述声发射传感器 4 与所述被测构件 3 之间填有耦合剂 7。

2. 根据权利要求 1 中所述的一种微裂纹无损检测装置,其特征在于:所述超声波探头 2 为单向探头;依据被检测对象 3 确定超声波探头 2 的数量及超声波发生器 1 的参数。

3. 根据权利要求 2 中所述的一种微裂纹无损检测装置,其特征在于:所述声发射采集分析系统 6 的通道数目为一个及以上。

4. 根据权利要求 3 中所述的一种微裂纹无损检测装置,其特征在于:所述声发射采集分析系统 6 包括信号采集单元、信号放大单元和信号处理单元。

5. 根据权利要求 4 中所述的一种微裂纹无损检测装置,其特征在于:所述声发射采集分析系统信号处理单元主要是综合声发射参数和波形信号的处理,声发射参数采用核独立分量分析方法,处理流程为:①数据归一化处理,②计算核矩阵,③计算核矩阵特征值和特征向量,④由特征值和特征向量计算特征空间主成分并根据需要保留一定贡献率的主成分,⑤对主成分采用独立分量分析方法进行分离等五步得到非线性特征参数;对于波形信号则经过 FFT 变换或小波变换得到频域的高次谐波成分的信息作为特征参数,最后综合声发射参数的非线性特征参数和波形信号的特征参数组成非线性特征参数向量。

6. 根据权利要求 5 中所述的一种微裂纹无损检测装置,其特征在于:所述耦合剂 7 和耦合剂 8 为凡士林。

7. 一种微裂纹无损检测方法,其特征在于:

(1) 构件重点待检测部位的确定:根据被测构件 3 的结构及可能出现裂纹部位等信息确定构件的重点待检测部位;

(2) 声发射采集分析系统 6 的确定:根据被测构件 3 的形状、材料、检测精度等因素确定声发射采集分析系统 6 的通道数目及声发射传感器 4 的类型;

(3) 声发射传感器 4 布置方式的确定:根据被测构件 3 的待检测部位的几何形状、体积大小等确定声发射传感器 4 的布置方式;

(4) 被测构件 3 状态的确定:判断被测构件 3 处于静态或动态;静态即构件中的裂纹处于静止状态,而动态即构件中的裂纹处活动状态;

(5) 被测构件 3 为静态时的检测方法:

a. 超声波发生器 1 向被测构件 3 待检测部位中除声发射传感器 4 布置面外的表面发射超声波激励,作为声发射采集分析系统 6 的模拟信号源;其中超声波探头为单向探头,超声波探头数及超声波发生器 1 的参数依据被检测对象确定;

b. 声发射传感器 4 采集该信号,经前置放大器 5 放大后传送至声发射采集处理系统 6;

c. 声发射采集处理系统 6 接收信号并对信号进行分析处理,得到信号的非线性特征参数向量;

d. 将得到的非线性特征参数向量与构件完好时得到的非线性特征参数向量对比,判断被测构件 3 是否存在微裂纹及微裂纹损伤的程度;

(6) 被测构件 3 为动态时的检测方法：

- a. 直接用声发射传感器 4 实时采集因被测构件 3 内部因存在微裂纹而激发出的声发射信号；
- b. 经前置放大器 5 放大后传送至声发射采集处理系统 6；
- c. 声发射采集处理系统 6 接收信号并分析处理，得到信号的非线性特征参数向量；
- d. 将得到的非线性特征参数向量与构件完好时得到的非线性特征参数向量对比，判断被测构件 3 是否存在微裂纹及微裂纹损伤的程度。

## 一种微裂纹无损检测装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测技术领域,特别涉及一种微裂纹无损检测装置及方法。

### 背景技术

[0002] 国民经济重要行业(如工程机械、船舶、核电、航空航天等)中的高端机械装备零部件,其一次退役后还具有很大的利用价值,因此其再制造引起了人们的极大关注。再制造是以产品全寿命周期理论为指导,以废旧产品性能实现跨越式提升为目标,以优质、高效、节能、节材、环保为准则,以先进技术和产业化生产为手段,来修复、改造废旧产品的一系列技术措施或工程活动的总称。再制造毛坯(废旧零件)经历过一次或多次的服役周期后,其结构中会出现一定的损伤或缺陷,成为影响其使用寿命的关键要素。

[0003] 因此对再制造毛坯的应力状态、损伤程度进行评估,是其再制造加工前要解决的关键问题。目前对再制造毛坯的检测流程是人工初步筛选-清洗-常规无损检测,但人工筛选过程存在大量漏检现象,对漏检构件先清洗后检测的流程非常耗费人力物力;常规无损检测主要采用超声波法,该方法对被检测构件中存在的微裂纹不敏感。由于大多数再制造构件服役条件极其复杂,且当再制造构件运行时无法进行检测且欠缺损伤定量检测。因此总体而言,目前的检测方法存在成本高、可靠性差、应用范围窄、不能同时兼顾再制造毛坯动态裂纹和静态裂纹两种情况等缺点。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种检测效率高、应用范围广、可实现动态和静态再制造件检测的微裂纹无损检测装置及方法。

[0005] 本发明采用如下技术方案:一种微裂纹无损检测装置,包括超声波发生器,超声波探头,被测构件,超声波发生器通过超声波探头与被测构件相连,还包括一声发射装置,所述声发射装置包括声发射采集处理系统、与所述被测构件相连的声发射传感器、连接所述声发射采集处理系统和所述声发射传感器的前置放大器,所述超声波探头与所述被测构件之间填有耦合剂,所述声发射传感器与所述被测构件之间填有耦合剂。

[0006] 作为本发明的进一步改进:

所述超声波发生器的超声波探头为单向探头,超声波探头数及超声波发生器的参数依据被检测对象确定;

所述声发射采集分析系统的通道数目为一个及以上;

所述声发射采集分析系统包括信号采集单元、信号放大单元和信号处理单元;

所述耦合剂和耦合剂为凡士林。

[0007] 一种微裂纹无损检测方法,包括以下步骤:

(1) 构件重点待检测部位的确定:根据被测构件的结构及生产实践中的经验累积、生产技术人员观察以及理论分析等确定构件的重点待检测部位;

(2) 声发射采集分析系统的确定:根据被测构件的形状、材料、检测精度等因素确定声

发射采集分析系统的通道数目及声发射传感器的类型；由于不同构件的结构、尺寸大小、材料等都是不尽相同的，因此每个被检测构件所需要的通道数也是不同的。为了满足不同被检测构件或是大型构件的检测的要求，声发射检测仪器的总通道数一般不少于 16 个。根据待检部位的材料、形状等的特性确定传感器需要监测的频率范围，根据这个范围选择合适的声发射传感器。由于采集到的信号一般较弱，因此要将采集到的信号经过前置放大器放大后送入信号处理设备，同时应将前置放大器等设备合理放置，防止在检测时由于检测设备存在物理扰动等因素，影响信号的采集结果，从而影响了检测的效果；

(3) 声发射传感器布置方式的确定：根据被测构件的待检测部位的几何形状、体积大小等确定声发射传感器的布置方式；为实现传感器与被检测构件表面的良好耦合，在布置传感器前应该用砂纸等打磨工具去除被测构件表面的防锈漆或者是其他可能影响信号采集结果的污渍；同时在传感器与构件接触部位应添加凡士林作为耦合剂；有时为保证采集效果或在构件表面很不规则时，用塑料槽型结构的专用磁座将声发射传感器压紧固定在构件表面，以防止传感器在构件表面发生滑动而影响到数据的采集；

(4) 被测构件状态的确定：判断被测构件处于静态或动态；静态即构件中的裂纹处于静止状态，而动态即构件中的裂纹处于活动状态；

(5) 被测构件为静态时的检测方法：

a. 超声波发生器向被测构件待检测部位中除声发射传感器布置面外的某一适当表面发射超声波激励，作为声发射采集分析系统的模拟信号源；其中超声波探头为单向探头，超声波探头数及超声波发生器的参数依据被测构件形状大小、复杂程度、材料特性以及声发射传感器可采集的频率范围等合理选择设定；

超声波信号激励部位应该相对平整，且应该将构件上该处的防锈漆或是其他污渍去除掉的以保证激励效果；

b. 声发射传感器采集该信号，经前置放大器放大后传送至声发射采集处理系统；

c. 声发射采集分析系统接收信号，并对信号进行分析处理；因为采集到的信号形式包括声发射参数和波形信号，因而信号处理单元也包括两个部分。声发射参数采用核独立分量分析方法，处理流程为：①数据归一化处理，②计算核矩阵，③计算核矩阵的特征值和特征向量，④由特征值和特征向量计算特征空间主成分并根据需要保留一定贡献率的主成分，⑤对主成分采用独立分量分析方法进行分离，得到非线性特征参数；波形信号由 FFT 变换或小波变换等对其进行频域或时频分析得到高次谐波成分的信息作为特征参数，最后综合声发射参数的非线性特征参数和波形信号特征参数组成非线性特征参数向量；

d. 将得到的非线性特征参数向量与构件完好时得到的非线性特征参数向量对比，判断被测构件是否存在微裂纹及微裂纹损伤的程度；

(6) 被测构件为动态时的检测方法：

a. 直接用声发射传感器实时采集因被测构件内部因存在微裂纹而激发出的声发射信号；

b. 经前置放大器放大后传送至声发射采集分析系统；

c. 声发射采集处理系统接收信号，并对信号进行分析处理；因为采集到的信号形式包括声发射参数和波形信号，因而信号处理单元也包括两个部分。声发射参数采用核独立分

量分析方法,处理流程为:①数据归一化处理,②计算核矩阵,③计算核矩阵的特征值和特征向量,④由特征值和特征向量计算特征空间主成分并根据需要保留一定贡献率的主成分,⑤对主成分采用独立分量分析方法进行分离,得到非线性特征参数;波形信号由FFT变换或小波变换等对其进行频域或时频分析得到高次谐波成分的信息作为特征参数,最后综合声发射参数的非线性特征参数和波形信号特征参数组成非线性特征参数向量;

d. 将得到的非线性特征参数向量与构件完好时得到的非线性特征参数对比,判断被测构件是否存在微裂纹及微裂纹损伤的程度。

[0008] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

1. 该无损检测装置包括超声波发射装置和声发射信号采集处理系统,对处于动态或静态的被测构件都能进行无损检测,使用方便,应用范围广;

2. 通过声发射信号处理单元获得被测构件微裂纹的非线性特征参数向量;由非线性特征参数向量推导出被测构件是否存在微裂纹以及微裂纹损伤程度,检测效率高;

3. 被测构件处于静态时,通过超声波发射装置发射激励,作为信号源,避免了施加外界机械载荷可能对构件造成的二次伤害以及环境噪声的影响。

#### 附图说明

[0009] 图1为本发明的微裂纹无损检测装置系统整体示意图。

[0010] 图2为本发明的超声波探头及声发射传感器在被测构件表面布置图。

[0011] 图3为本发明微裂纹无损检测方法流程图。

[0012] 图4为本发明声发射分析处理系统构成单元示意图。

[0013] 图5为本发明一种微裂纹无损检测装置及方法信号处理流程图。

[0014] 图6为本发明的超声波探头及声发射传感器在水轮机表面布置图。

[0015] 图7为本发明实施例水轮机转轮微裂纹检测具体步骤流程图。

#### 具体实施方式

[0016] 下面结合附图和具体实施例对本发明进一步说明。

[0017] 如图1-3所示的微裂纹无损检测装置,包括超声波发生器1,超声波探头2,被测构件3,超声波发生器1通过超声波探头2与被测构件3相连,还包括一声发射装置,所述声发射装置包括声发射采集处理系统6、与所述被测构件3相连的声发射传感器4、连接所述声发射采集处理系统6和所述声发射传感器4的前置放大器5,所述超声波探头2与所述被测构件3之间填有耦合剂8,所述声发射传感器4与所述被测构件3之间填有耦合剂7。

[0018] 所述超声波探头2采用单向探头,超声波探头2的数目及超声波发生器1的参数依据被检测对象确定,如图6所示的实施实例中超声波探头2为4个,超声波发生器1的中心频率为500kHz,发射的激励范围为100kHz-1MHz、输出电压为300V。

[0019] 所述声发射采集处理系统6的通道数目为一个及以上,如图6所示实施实例中通道数为13。

[0020] 所述声发射采集处理系统6包括信号采集单元、信号放大单元和信号处理单元。因为所采集到的信号形式包括声发射参数和波形信号,因而信号处理单元也包括两个部

分,声发射参数采用核独立分量分析方法,处理流程为:①数据归一化处理,②计算核矩阵,③计算核矩阵的特征值和特征向量,④由特征值和特征向量计算特征空间主成分并根据需要保留一定贡献率的主成分,⑤对主成分采用独立分量分析方法进行分离,得到非线性特征参数;波形信号由FFT变换或小波变换等对其进行频域或时频分析得到高次谐波成分的信息作为特征参数,最后综合声发射参数的非线性特征参数和波形信号特征参数组成非线性特征参数向量。

[0021] 所述耦合剂7和耦合剂8为凡士林。

[0022] 下面结合图6所示实施实例,混流式水轮机转轮对一种微裂纹无损检测方法做详细说明,包括以下步骤:

(1)构件重点待检测部位的确定:如图6所示为混流式水轮机转轮直径为8m,最大直径为8.6m,高度为5.19m,转轮叶片数为13(图6中只画出两个叶片),转轮材料为不锈钢,根据实际的经验积累,水轮机转轮的叶片是极易产生微裂纹的区域,因此被实施例中将水轮机叶片确定为重点检测部位;

(2)声发射采集处理系统的确定:对混流式水轮机转轮微裂纹检测中声发射系统采用美国物理声学公司(PAC)PCI-2系统,包括8块PCI-2通道板、18位A/D转换器、AE应用软件AEwin以及在其二次开发软件上开发的信号处理单元。因为水轮机转轮有13个叶片,一个叶片布置一个传感器,所以选用声发射通道数为13通道。所述实施例中声发射传感器选用WDI型,中心频率500kHz,其可采集的信号频率范围为:100kHz-1MHz;信号放大单元选择2/4/6型前置放大器,放大倍数选择40dB;

(3)声发射传感器布置方式的确定:如图6实施例所示,对混流式水轮机转轮微裂纹检测,叶片出现微裂纹的概率较大且表面平整,因此将WDI型声发射传感器布置在水轮机转轮的叶片上,并且为了减少误差,每一片叶片上WDI型声发射传感器布置的位置都应大体保持一致。为了让WDI型声发射传感器与水轮机转轮叶片表面的良好耦合,在布置传感器前应该用砂纸等打磨工具去除水轮机叶片表面的防锈漆或者是其他可能影响信号采集结果的污渍;同时在传感器与叶片接触部位应添加凡士林作为耦合剂;同时用塑料槽型结构的专用磁座将WDI声发射传感器压紧固定在水轮机转轮叶片表面,以防止传感器在叶片表面发生滑动而影响到数据的采集;

(4)被测构件状态的确定:图6所述实施例中的对水轮机叶片的检测是在静态下进行的,即水轮机停止运行同时也不需外加机械载荷。在水轮机转轮的下环9处,超声波发生器发射一个电压设定为300V的超声波激励,作为声发射模拟信号源;布置在水轮机叶片上的WDI型声发射传感器采集该信号,经过前置放大器放大后送入声发射采集处理系统,并按图5中所述流程对信号进行分析处理,得出所获得声发射信号的非线性特征参数向量,将得到的非线性特征参数向量与构件完好时得到的标准非线性特征参数向量进行对比,从而判断出被测构件是否存在微裂纹及微裂纹损伤的程度。所述图6由于下环9相对平整,选为超声波激励发射部位,由于转轮为对称结构,四个超声波探头2分别布置在下环9中间位置的两垂直直径的末端,且将水轮机下环9表面与超声波探头接触部位的防锈漆及其他污渍去除掉的以保证发射效果,同时水轮机转轮下环9与探头之间应填充凡士林作为耦合剂;

(5)被测部件3为动态时,即被检测构件处于运行状态或是外加载荷状态下,则不用超

声波发射装置发射的超声波激励作为信号源,而是直接将声发射传感器 4 布置在构件 3 上的合适位置,同样可以判断出被测构件 3 中是否存在微裂纹及微裂纹损伤的程度。通过本发明便可实现对构件静态或动态情况下存在微裂纹的无损检测,一次检测就能对被检测构件微裂纹损伤给出一个整体性评价,减少了工作量,提高了检测效率。

[0023] 以上实施方式仅为了说明本发明所做的举例,并非对本发明的限制,对于在不脱离本发明指导思想和范围的情况下,还可做出其它不同形式的变化或变动。本发明的专利保护由权利要求限定的范围确定。



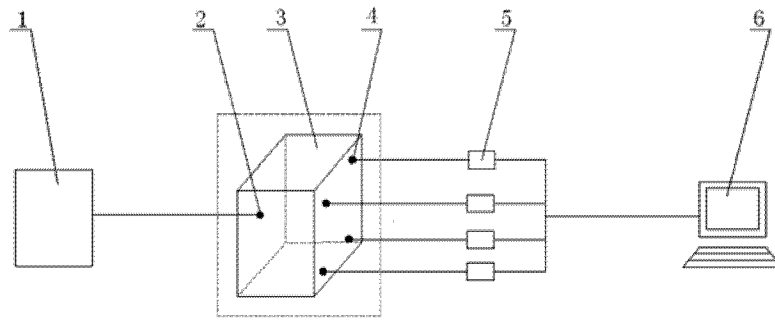


图 1

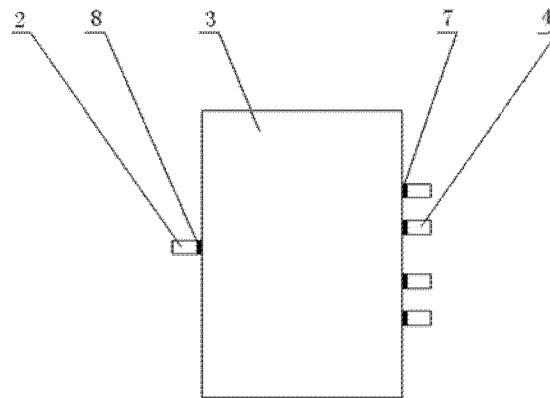


图 2



图 3

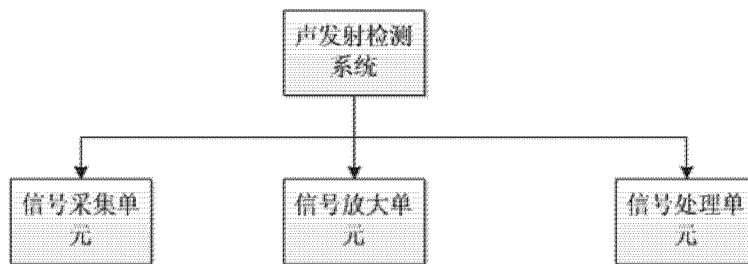


图 4

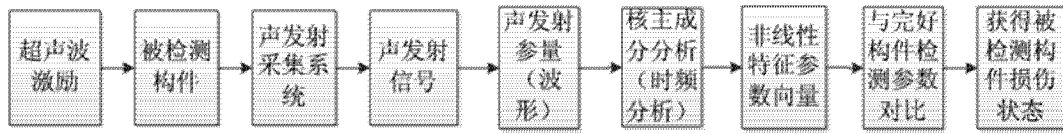


图 5

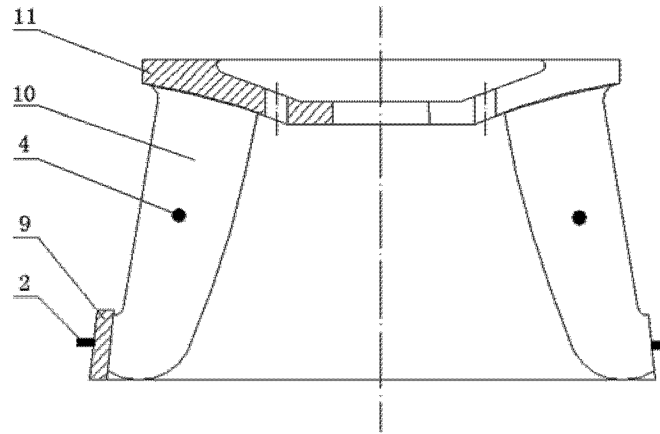


图 6

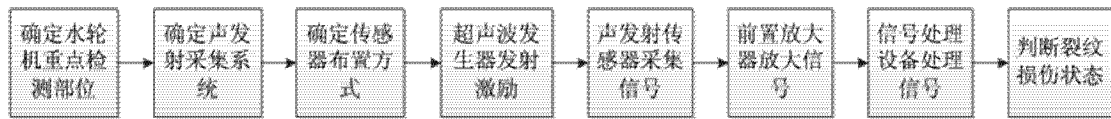


图 7