(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105247362 B
(45)授权公告日 2017.06.13

(21)申请号 201480030796.3

(22)申请日 2014.05.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105247362 A

(43)申请公布日 2016.01.13

(30)优先权数据
1354956 2013.05.30 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.11.27

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2014/051202 2014.05.22

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/191661 FR 2014.12.04

(73)专利权人 斯奈克玛
地址 法国巴黎

(72)发明人 尼古拉斯·布鲁赛-科莱拉
让-伊夫·沙泰利耶
杰里米·杜维尔

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270
代理人 徐川 武晨燕

(51)Int.Cl.
G01N 29/11(2006.01)
G01N 29/44(2006.01)

(56)对比文件
CN 1167915 A,1997.12.17,
CN 101331395 A,2008.12.24,
CN 101617223 A,2009.12.30,
CN 101975821 A,2011.02.16,
US 2007/0051177 A1,2007.03.08,
US 4004454 A,1977.01.25,
DE 10258336 B3,2004.04.15,
WO 2011/141662 A1,2011.11.17,
燕会明等.超声相控阵成像方法研究.《无损检测》.2009, (续)

审查员 李婷

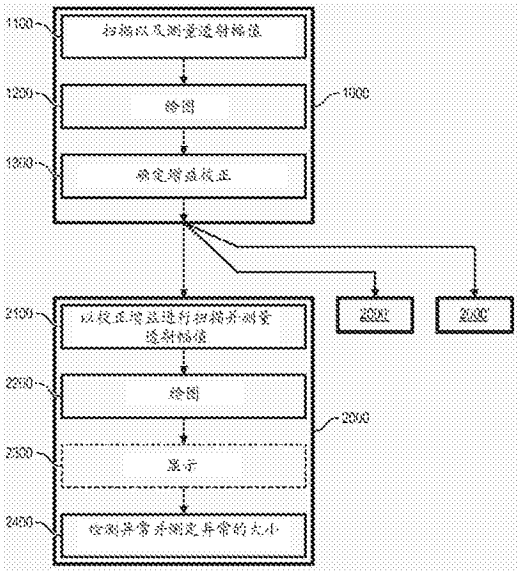
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

改进的超声透射检查方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于通过超声透射检查物体的方法，包括以下步骤：用超声波束扫描与待检查物体具有相同几何形状的基准部件，并测量(1100)透射过所述部件的幅值以得到(1200)其绘图，使用基准增益来放大所述超声波束；在上述基准部件的扫描期间确定(1300)在某些点处要添加到所述基准增益的增益校正，以得到透射过所述部件的、在所述绘图的每个点处恒定的超声波束幅值；以及使用超声波束扫描所述待检查物体并测量(2100)透射幅值，在扫描期间施加到各个点的增益对应于基于上述校正而被校正的基准增益。



CN 105247362 B

[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

I. Amenabar,et al.Comparison and analysis of non-destructive testing techniques suitable for delamination inspection in wind turbine blades.《Composites: Part B》.2011,

马庆增等.超声导波检测技术在小直径管检测中的应用.《广东电力》.2012,

1.一种通过超声透射对物体(0)进行检查的方法,其中,使用超声波束对所述物体进行扫描并对透射过所述物体(0)的超声波束的幅值进行测量,所述测量包括:将所述超声波束转换为电信号、对所述信号施加放大增益以及测量所述信号的幅值;

为了由此推导出一绘图,在该绘图中所述物体按照曝光方向的投影表面的每个点与透射过所述物体的该点的超声波束的幅值相关联,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

-对与待检查物体具有相同几何形状的基准部件执行扫描和幅值测量(1100),以从中推导出(1200)所述基准部件的绘图,施加到幅值测量值上的所述放大增益是预先确定的基准增益(G_{ref});

-为所述基准部件的所述绘图的多个点确定(1300)在相应的扫描点处要作用于所述基准增益(G_{ref})的增益校正,以得到透射过所述基准部件的超声波束的、对所述绘图的所有点而言恒定的幅值(A_C);

-通过对不同扫描点施加与经之前确定的所述增益校正所校正的所述基准增益(G_{ref})相对应的放大增益(G_C),来对待检查物体(0)执行扫描和幅值测量(2100)。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,根据对所述待检查物体(0)的所述幅值测量推导出该物体的绘图(2200),并且分析得到的绘图(2300)以检测与透射过所述物体的幅值有关的任何异常。

3.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述待检查物体和所述基准部件是轴对称的,所述超声波束的所述曝光方向相对于对称轴是径向的,且所述基准部件是按所述部件的、在所述基准部件的表面与径向平面的交叉线处的线进行扫描的。

4.根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述待检查物体和所述基准部件包括复合材料。

5.根据权利要求1或2所述的方法,其中,透射过所述基准部件的所述恒定的幅值(A_C)大于所发射的超声波束的幅值(A_S)的60%。

6.根据权利要求1或2所述的方法,其中,透射过所述基准部件的所述恒定的幅值(A_C)在所发射的超声波束的幅值(A_S)的70%与90%之间。

7.根据权利要求1或2所述的方法,其中,透射过所述基准部件的所述恒定的幅值(A_C)等于所发射的超声波束的幅值(A_S)的80%。

8.根据权利要求1或2所述的方法,其中,在对所述基准部件的点进行扫描的同时确定相应点处要作用于所述基准增益(G_{ref})的所述增益校正。

9.根据前述权利要求中任一项所述的方法的用途,用于叶片(10)的检查。

10.根据权利要求3所述的方法的用途,用于叶片壳体的检查。

11.根据权利要求1至8中任一项所述的方法的用途,用于涡轮机风扇的叶片(10)的检查,所述叶片由复合材料形成并且还包括被附着在该叶片的前缘上的金属加强部(11),所述方法用于检测任何黏附异常。

12.一种通过超声透射对物体进行检查的系统(100),用于执行根据权利要求1至8中任一项所述的方法,所述系统包括:

-超声波束的发射探头(110)和所述探头的扫描的控制装置(120),其适于通过由所述探头发射的超声波束来执行对所述物体的扫描;

-超声接收器(130),其适于将透射过所述物体超声波束转换为电信号;以及

-处理单元(140),其包括放大器(142)和控制单元(143),所述放大器(142)适于将放大增益施加到由所述接收器(130)得到的所述电信号上,以及所述控制单元(143)被配置为测量所放大信号的幅值并根据幅值测量值推导出绘图,在该绘图中所述物体按照曝光方向的投影表面的每个点与透射过所述物体的该点的幅值相关联;

所述系统的特征在于,所述控制单元(143)进一步适于:针对使用超声波束以预先确定的基准增益(G_{ref})对基准部件进行扫描所得到的绘图的多个点,确定在相应的扫描点处要作用于所述基准增益(G_{ref})的增益校正,以得到透射过所述基准部件的、对所述绘图的所有点而言恒定的幅值(A_C);以及

适于控制所述放大器(142),以在对所述待检查物体进行所述扫描和所述幅值测量期间,将与根据所确定的增益校正进行了校正的基准增益(G_{ref})相对应的放大增益(G_C)施加到超声波束的不同扫描点上。

改进的超声透射检查方法

技术领域

[0001] 本发明涉及通过超声透射对物体进行无损检查的方法领域，该方法用以检测内部异常，比如出现在被检查物体体积内的孔隙、脱层、裂纹等等或者当被检查物体是通过将几个部件连接起来构成的时的黏附缺陷。

[0002] 本发明尤其应用于对诸如叶片和涡轮机叶片壳体之类的具有复杂几何形状的部件的检查。

背景技术

[0003] 不同的通过超声的无损控制技术已经是公知的。一项已知的技术是通过反射进行控制，在该已知技术期间，待检查物体的扫描通过具有确定的增益的超声波束来实施，且对物体所反射的波束的幅值进行测量以检测物体内部结构的任何的改变。

[0004] 然而，通过超声反射进行控制的方法不适于由诸如复合材料之类的大量吸收超声的材料制成的物体。然而，当前复合材料却被用来制造涡轮机元件，例如叶片或叶片壳体。

[0005] 在这种情况下，一种更适用的检查方法是通过使用了代表“C型扫描”的透射来进行超声控制。这涉及到达待控制部件的两个相对面的通路。接收器则被放置在发射器对面并且回收透射过部件的能量。诸如分界面或异常的反射物将通过该能量的跌落被检测到，但不可能在上述部件的厚度上对反射物进行定位。

[0006] 根据幅值测量，之后进行绘图(cartographie)，该绘图代表了被检查的物体在超声波束方向上的投影，绘图中的每个点根据幅值进行着色。图4a示出了这种在涡轮机叶片前缘的水平面所做的绘图。较暗的区域对应透射的超声波束的幅值较弱的区域，即，衰减较高的区域。

[0007] 超声波束幅值的减小取决于所穿过的材料的厚度和所遇到的任何缺陷；例如，如果在被检查的物体中在超声波束的路径上发现了空腔，则超声波束不会被该空腔透射，因而透射过该空腔的幅值相对于初始的发射幅值大为减小。

[0008] 当被检查的物体具有复杂的几何形状时，例如在被检查的物体是涡轮机叶片或叶片壳体的情况下，通过超声透射的检查方法不可能区分具有缺陷的区域与所要穿过的材料的厚度相当大的区域或者由于部件的几何形状而未对准探头的区域之间的差异。

[0009] 例如，在图5a中，图左侧的部分对应叶片的根部，且右侧部分对应叶片的头部，该叶片如图1中所示。图5a的绘图中对应于叶片的根部的左端具有深着色(coloration foncée)，表明叶片此处对超声波具有强吸收。这种强吸收可与根部中的缺陷相关联或者源于叶片在此处的厚度，但不可能根据绘图对此加以确定。

[0010] 因此，需要一种物体检查方法，该物体检查方法可克服被检查物体的几何形状复杂性并且可独立于物体的厚度识别出被检查物体的结构缺陷。

[0011] 为此，方法可包括使用在每次扫描和每个步进(pas)具有不同增益的超声波束对同一部件进行多次扫描。然而，因为所有部件必须在使用之前检查，该方法可能会导致过多的时间消耗。

发明内容

[0012] 本发明的目的是提出一种对物体进行检查的方法以立即识别出存在于物体结构中的缺陷。

[0013] 本发明的另一个目的是能够使用任何几何形状的被检查物体。

[0014] 在这方面，一种通过超声透射对物体进行检查的方法，其中，使用超声波束对所述物体进行扫描并对透射过所述物体的超声波束的幅值进行测量，所述测量包括：将所述超声波束转换为电信号、对所述信号施加放大增益以及测量所述信号的幅值；为了由此推导出一绘图，在该绘图中所述物体按照曝光方向的投影表面的每个点与透射过所述物体的该点的超声波束的幅值相关联，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

[0015] -对与待检查物体具有相同几何形状的基准部件执行扫描和幅值测量，以从中推导出所述基准部件的绘图，施加到幅值测量值上的所述放大增益是预先确定的基准增益；

[0016] -为所述基准部件的所述绘图的多个点确定在相应的扫描点处要作用于所述基准增益的增益校正，以得到透射过所述基准部件的超声波束的、对所述绘图的所有点而言恒定的幅值；

[0017] -通过对不同扫描点施加与经之前确定的所述增益校正所校正的所述基准增益相对应的放大增益，来对待检查物体执行扫描和幅值测量。

[0018] 有利但可选地，根据本发明的方法进一步具有下述特征中的至少一个：

[0019] -根据对所述待检查物体的所述幅值测量推导出该物体的绘图，并且分析得到的绘图以检测与透射过所述物体的幅值有关的任何异常；

[0020] -所述待检查物体和所述基准部件是轴对称的，所述超声波束的所述曝光方向相对于对称轴是径向的，且所述基准部件是按所述部件的、在所述基准部件的表面与径向平面的交叉线处的线进行扫描的；

[0021] -所述待检查物体和所述基准部件包括复合材料；

[0022] -透射过所述基准部件的所述恒定的幅值大于所发射的超声波束的幅值的60％，并且有利地在所述幅值的70％与90％之间，且优选地等于所述幅值的80％；

[0023] -在对所述基准部件的点进行扫描的同时确定相应点处要作用于所述基准增益的所述增益校正。

[0024] 本发明还涉及上述检查方法的用途，用于叶片的检查，尤其是对由复合材料构成并进一步包括附着在它的前缘上的金属加强部的叶片的检查，上述方法用于检测任何粘附异常或甚至用于检查叶片壳体。

[0025] 本发明的另一个目的是通过超声透射用于实施上述检查方法的物体检查系统，包括：

[0026] -超声波束的发射探头和所述探头的扫描的控制装置，其适于通过由所述探头发射的超声波束来执行对所述物体的扫描；

[0027] -超声接收器，其适于将透射过所述物体超声波束转换为电信号；以及

[0028] -处理单元，其包括放大器和控制单元，所述放大器适于将放大增益施加到由所述接收器得到的所述电信号上，以及所述控制单元被配置为测量所放大信号的幅值并根据幅值测量值推导出绘图，在该绘图中所述物体按照曝光方向的投影表面的每个点与透射过所

述物体的该点的幅值相关联；

[0029] 所述系统的特征在于，所述控制单元进一步适于：针对使用超声波束以预先确定的基准增益对基准部件进行扫描所得到的绘图的多个点，确定在相应的扫描点处要作用于所述基准增益的增益校正，以得到透射过所述基准部件的、对所述绘图的所有点而言恒定的幅值；以及

[0030] 适于控制所述放大器，以在对所述待检查物体进行所述扫描和所述幅值测量期间，将与根据所确定的增益校正进行了校正的基准增益相对应的放大增益施加到超声波束的不同扫描点上。

[0031] 所提出的检查方法允许避免物体的几何形状，使得由检查引起的在绘图上表明的能量的减少仅仅与物体结构的缺陷相关联。

[0032] 实际上，使用已知的没有缺陷的基准部件使超声接收信号束的增益与曝光点处的被检查物体的厚度相适应。这样，超声波束的幅值被修改以使得物体看起来呈现恒定的厚度。结果是透射幅值的变化可以仅产生自所检查物体的缺陷，消除了与物体厚度相关联的变化。

[0033] 该方法由此检查更快速并且对具有复杂几何形状的部件有改善的可靠性。

附图说明

[0034] 本发明的其它特征、目的和优点将从下文中参照以非限制性示例的方式给出的附图所进行的详细描述中变得明显，在附图中：

[0035] -已经描述的图1示出了涡轮机叶片；

[0036] -图2示意性地示出了使用超声透射的检查系统；

[0037] -图3示出了使用超声透射的检查方法的主要步骤；

[0038] -图4a和图4b分别示出了在超声接收信号的增益校正之前和之后获得的基准叶片的绘图；

[0039] -图5a和图5b(图5a已经描述过)分别示出了在超声接收信号的增益校正之前和之后获得的被检查叶片的绘图；

[0040] -图6示出了涡轮机叶片壳体的轴向剖面；

[0041] -图7a和图7b分别示出了在超声接收信号的增益校正之前和之后获得的叶片壳体凸缘的绘图；

[0042] -图8a和图8b分别示出了在超声接收信号的增益校正之前和之后获得的被检查叶片壳体的绘图。

具体实施方式

[0043] 参照图2，这示意性地示出了用于执行下文所描述的方法的使用超声透射对物体0进行检查的系统100。

[0044] 该系统包括超声波束的发射探头110，超声波束的发射探头110按照由所述探头的扫描控制装置120预先确定的路径移动。

[0045] 接收器130被放置在被探测物体0的另外一侧。

[0046] 探头110和接收器130是能够将电信号转换为机械波以及将机械波转换为电信号

的压电换能器。因此，探头和接收器的功能可以互换。

[0047] 在这种情况下，探头被处理单元140的发生器141所供应的信号电激励以用于发射超声波，并且接收器130将经由被探测物体传播的超声波转换为电信号。

[0048] 透射过物体的超声波束的幅值按如下方式测量。由接收器所转换的电信号被传输到处理单元140，该处理单元140包括用于以优选的增益放大电信号的放大器142，所述增益在幅值上对应于透射过物体O的超声波束的增益。处理单元进一步包括控制单元143，该控制单元143则有利地可以是测量当前经放大电信号的幅值的处理器，该幅值对应于超声波束的幅值。

[0049] 控制单元143进一步适于将被探测物体的每个扫描点与透射过物体的该扫描点的超声波束的幅值相关联。在这种情况下，词语“绘图”意为将点与各自幅值相关联，无论该关联是否遵循物体的二维显示，物体的二维显示代表了处于取决于超声波束的透射幅值的特定颜色的每个扫描点有利但可选地，检查系统100进一步包括用于示出上述绘图的显示器150。

[0050] 如将在下文示出的，控制单元142也适于控制由放大器142对由接收器130所接收的超声波束做出的增益。

[0051] 参照图3，这示出了由之前所描述的系统实施的、使用超声透射对物体所进行的检查方法的主要步骤。

[0052] 该方法包括通过“C型扫描”超声透射来执行对物体的控制，包括：第一测量步骤，在第一测量步骤期间，通过以确定的增益放大从透射过物体的超声波接收的信号来使用超声波束扫描待检查物体，并在方法之后测量透射过物体的超声波束的幅值；以及第二解释(interprétation)步骤，在第二解释步骤期间，根据这些幅值测量值，建立物体的二维绘图，这种绘图是所检查物体按照超声波束的曝光方向的投影。物体y被以颜色或灰色阴影表示，绘图中的每个点的颜色与透射过所述物体的超声波束的幅值相关联。

[0053] 这种控制首先在初始化步骤1000期间在基准部件上执行，以针对该部件推导出待施加到放大器142的增益上的透射信号增益校正，从而使得透射过所述部件的超声波的幅值是恒定的。

[0054] 随后，方法包括对每个被检查物体O的实际检查步骤2000，该实际检查步骤2000包括通过将根据初始化步骤期间所确定的校正得到的经校正增益用作超声接收增益来实施“C型扫描”的控制。

[0055] 现在将详细描述在基准部件上实施的初始化步骤1000。

[0056] 基准部件是与待检查物体具有相同几何形状(即相同尺寸)的部件。例如，如果待检查物体是涡轮机叶片，则基准部件就是相同设计的叶片。

[0057] 此外，基准部件也必须被以其它方法挑选和控制以核实它不包括缺陷。

[0058] 在第一子步骤1100期间，通过由探头发射的、具有预先确定的幅值A_s的超声波束来扫描基准部件。

[0059] 接收器接收超声波束并传输对应的电信号至处理单元。

[0060] 处理单元的控制单元143针对放大器142的预先确定的基准增益P_{ref}测量每个扫描点处透射过所述部件的超声波的幅值A_t，并由此在子步骤1200期间推导出将所述点处的透射幅值与每个扫描点相关联的绘图。

[0061] 控制单元在子步骤1300期间在每个扫描点处确定所接收到的能量的放大增益G_C，并由此推导出为得到校正增益G_C在每个扫描点处对基准增益G_{ref}所作的校正的列表，所接收到的能量的放大增益G_C应当被选择为使得透射过所述部件的超声波的幅值对于所有扫描点都是恒定的。

[0062] 一旦部件的所有扫描都已完成，就可确定增益校正。可替代且优选地，增益校正的确定可以实时进行，即，在部件的每个扫描点处待作用到基准增益G_{ref}上的增益校正的确定和施加与控制单元143对该点的扫描同时进行。

[0063] 具有校正增益的恒定透射幅值A_C优选地大于由探头发射的超声波幅值A_S的60％，以使得所获取的数据具有良好的分辨率。有利地，具有校正增益的幅值介于所发射的超声波幅值A_S的70％至90％之间，且优选地大约为80％。这代表幅值与获得的分辨率之间的良好折中。

[0064] 这产生了类似于下表的表格，其中，每个扫描点被关联到在基准部件的控制期间作为所透射幅值的函数的增益校正。

[0065]

点	1	2	3	4	...	N
以幅值 A_s 的百分比（%）表示的未校正透射能量或幅值 A_t	95	80	70	60	...	5
以分贝（dB）为单位的校正	-X	+0	+Y	+Z	...	+P
以幅值 A_s 的百分比（%）表示的经校正透射能量或幅值 A_c	80	80	80	80	80	80

[0066] 针对基准部件获得恒定的校正透射幅值A_C的事实避免了将部件在不同扫描点处的厚度变化考虑在内。所以，通过之后将来自所述校正的校正增益G_C施加到与基准部件具有相同几何形状的受控物体上，透射的幅值仅有的变化将直接由受控物体的结构缺陷引起。

[0067] 图4a示出了通过向基准部件施加超声的基准增益G_{ref}获得的绘图，及图4b示出了校正增益G_C。上述绘图清楚地示出由于部件的厚度变化所导致的透射幅值变化被消除，且经校正的透射幅值A_C是恒定的。

[0068] 参照图3，现在将描述物体的检查步骤2000。

[0069] 如之前所指出的，该物体必须与基准部件具有相同的几何形状和结构，以使得针对扫描点建立的校正列表有效。

[0070] 在子步骤2100期间，使用超声波束扫描物体，超声波束在每个扫描点处的增益是

校正增益G_c，即，已经进行了之前确定的校正的基准增益G_{ref}。

[0071] 接收器感测超声波束且控制单元测量具有校正增益的放大信号的幅值。

[0072] 在子步骤2200期间，通过将每个扫描点与透射过物体并被接收器所接收的超声波的幅值相关联，控制单元143对被探测物体进行绘图。有利地，该绘图在步骤2300期间被在显示器上示出，每个扫描点由代表透射幅值的衰减率或代表透射幅值本身的颜色或灰色阴影来进行表示。

[0073] 图5a和图5b示出了在未校正超声接收增益和已校正超声接收增益的情况下分别得到的涡轮机叶片的绘图。

[0074] 该涡轮机叶片10由复合材料制成且在它的前缘上具有金属加强部11，如图1所示。上述检查方法尤其被用于识别前缘上的加强部的黏附缺陷。在这方面，通过对叶片的前缘与金属加强部之间的由吸收材料形成的插入物加以定位已经在图5a和图5b的测试叶片中模拟出了黏附缺陷。

[0075] 图5b更明显地示出了上述插入物，并且一旦增益校正被施加到超声接收信号上，插入物的形状会更清晰。

[0076] 例如通过设定透射幅值的阈值并且将在不同扫描点处得到的值与所述阈值进行比较而在步骤2400期间由操作人员执行或自动执行的、对所产生的绘图的分析，将很容易根据对应于所检查物体的内部结构缺陷的、透射过部件的幅值检测出或在图中显示异常。因此，此方法比到目前为止提出的方法更为快速地识别出缺陷。

[0077] 此外，一旦对给定的几何形状做出的增益校正被设定，这些校正可以被应用于所有相同几何形状的部件。因此，如图3中的步骤2000'和2000"所示，可以在无需重复步骤1000的情况下，针对新的待检查物体重复检查步骤2000。

[0078] 根据特定的实施例，基准部件和被检查物体是轴对称的，即，关于轴线旋转对称，它们的表面由线关于对称轴的旋转产生。这是例如涡轮机叶片壳体的情况。

[0079] 因此，这样的部件在关于轴的径向上的厚度变化在部件的整个圆周是相同的。在这方面，图6示出了涡轮机壳体的厚度变化的剖面的示例。

[0080] 在这种情况下，执行方法的初始化步骤1000可以通过确定仅针对部件的轴向剖面做出的增益校正的列表而被简化，这些增益校正对部件的整个圆周是可换位的(transposables)。

[0081] 因此，在使用超声波束对基准部件所进行的扫描步骤1100期间，超声波束的曝光方向相对于对称轴是径向的，且基准部件是按所述部件在基准部件的表面与径向平面的交叉线处的线进行扫描的。有利地，基准部件被按单条线进行扫描，但也可以在几条线上重复扫描，以核实获得的增益校正。

[0082] 接下来，在物体的检查步骤2000期间，通过将对应的修正施加到为设定增益校正而作出的扫描线的每个点上，待检查轴对称物体的全部按照与所述扫描线相同的超声波束扫描线进行探测。

[0083] 上述方法尤其适于由复合材料制成的涡轮机叶片壳体的检查，以检测材料中孔隙和脱层类型的缺陷，包括位于用于将壳体固定到涡轮机的其它元件的凸缘处的缺陷，具有大体积的该凸缘使得在小半径(90°角)内无法对其进行检查，并且导致引起信号丢失的探头未对准。

[0084] 图7a和图7b示出了对叶片壳体的凸缘施加增益校正之前和之后获得的绘图;使用校正幅值得到的图像更易于定位部件中出现的缺陷并测出其尺寸。

[0085] 相似地,图8a和图8b示出了施加增益校正之前和之后在壳体的纹理(veine)处得到的壳体的绘图。壳体结构的方形缺陷同样明显得多。

[0086] 提出的物体的检查办法不特别限于一种类型的待检查物体,而是有利地应用于涡轮机的叶片或涡轮机叶片壳体,或应用于任何其它具有复杂几何形状并在厚度上多变的物体。

[0087] 更广泛地,本发明应用于由对超声波具有高吸收率的材料制成的任何物体,例如由复合材料制成的物体,并且尤其是编织3D复合材料或是3D互锁(3D interlock)制成的物体,即,包括有被引入到诸如聚合物材料之类的基体中的加强结构的物体。

[0088] 上述方法因此易于控制这些物体,并甚至立即显示它们可能包含的缺陷。

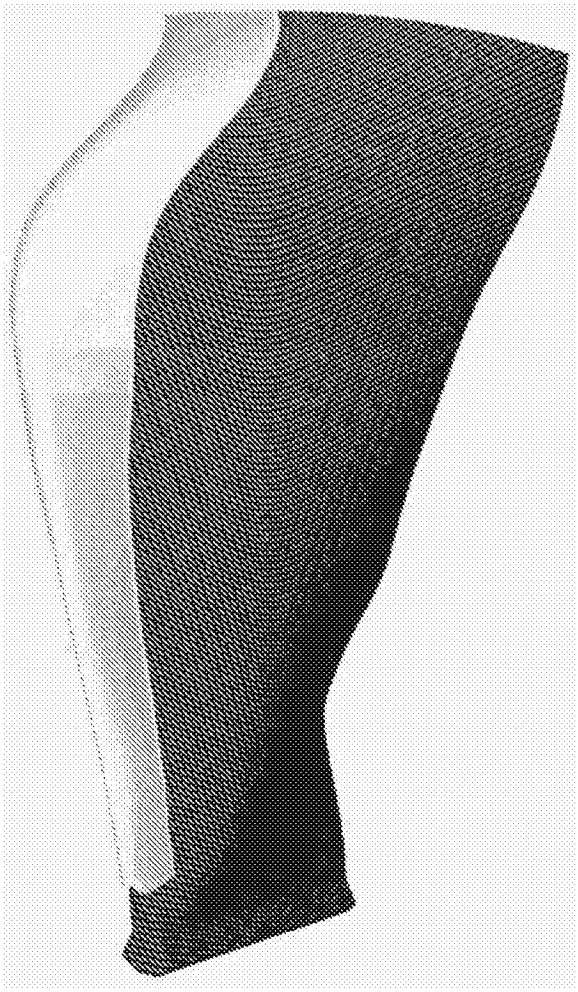


图1

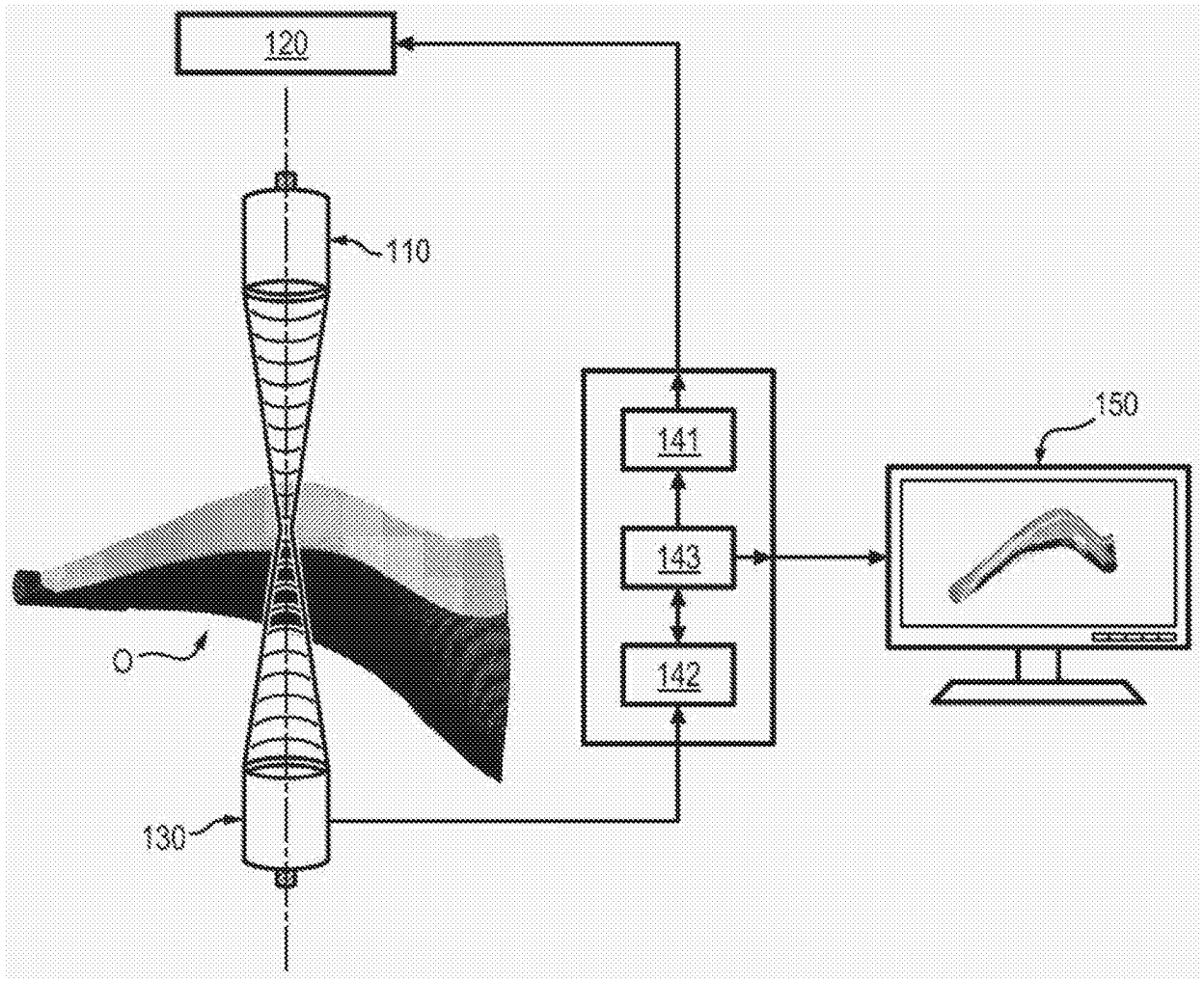


图2

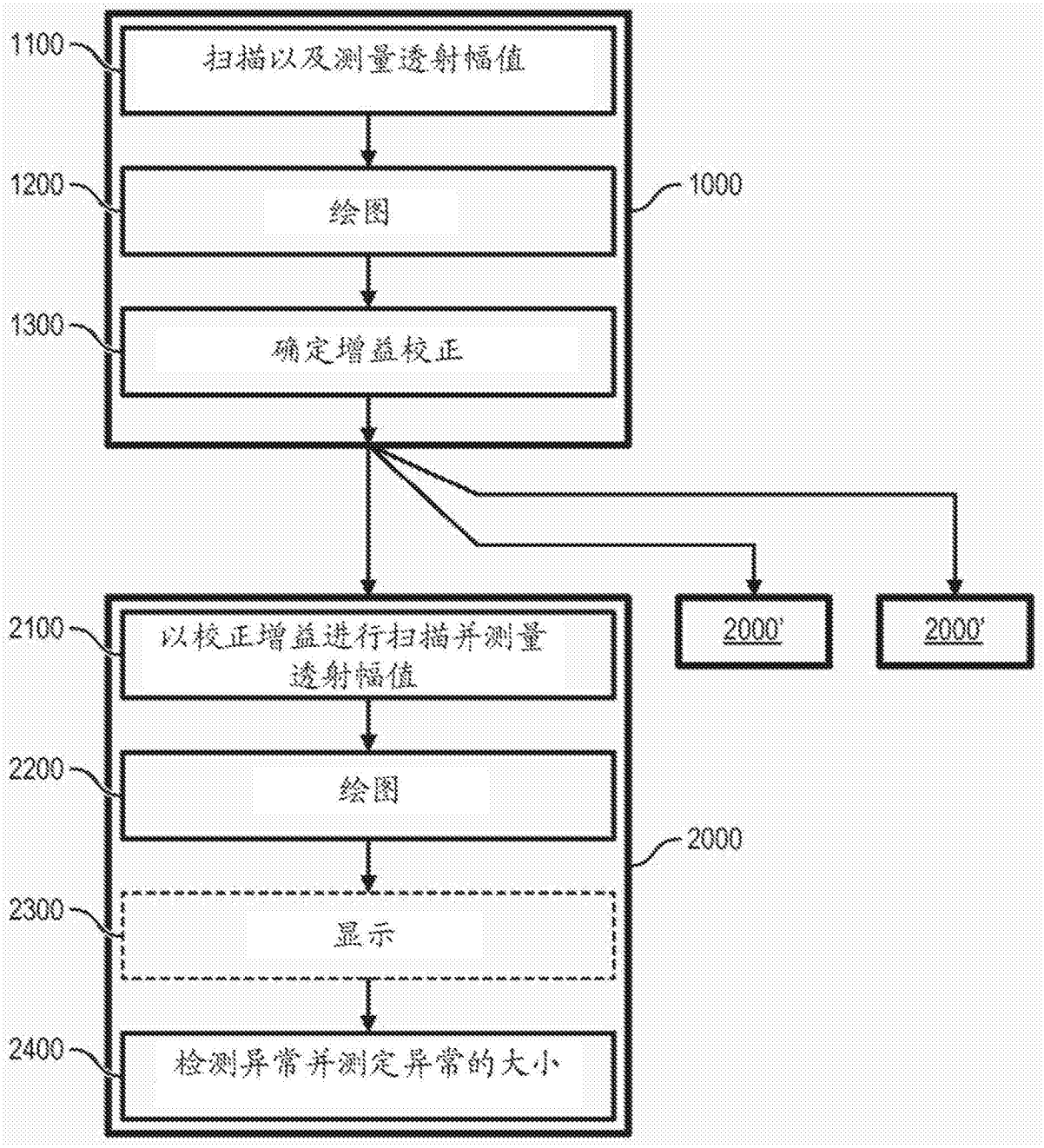

1100
扫描以及测量透射幅值
1200
绘图
1000
1300
确定增益校正
2000'
2000'
2100
以校正增益进行扫描并测量透射幅值
2200
绘图
2000
2300
显示
2400
检测异常并测定异常的大小

图3

图4a

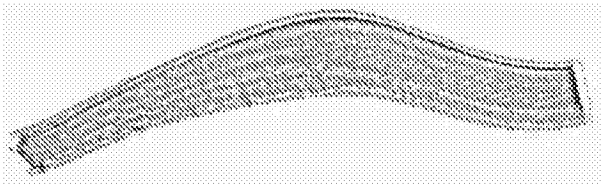


图4b

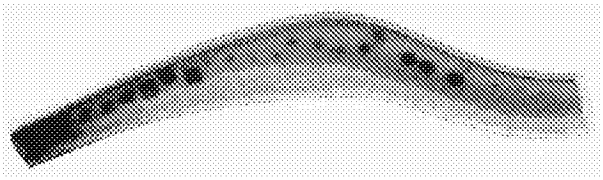


图5a

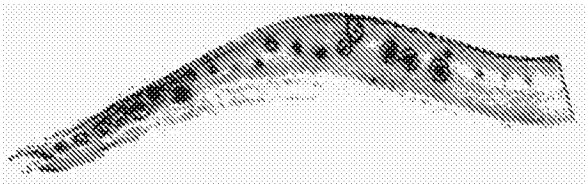


图5b

图6

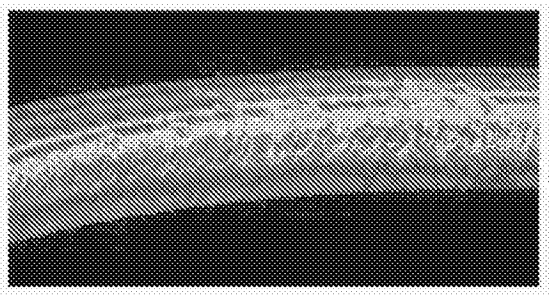


图7a

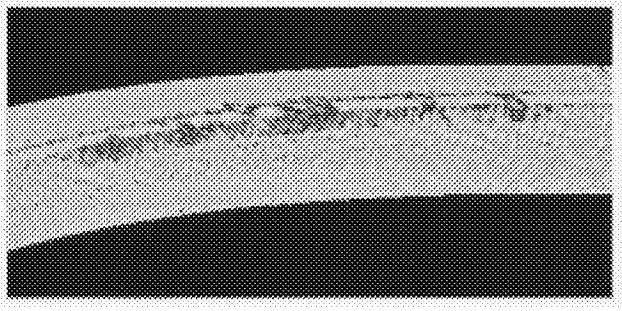


图7b

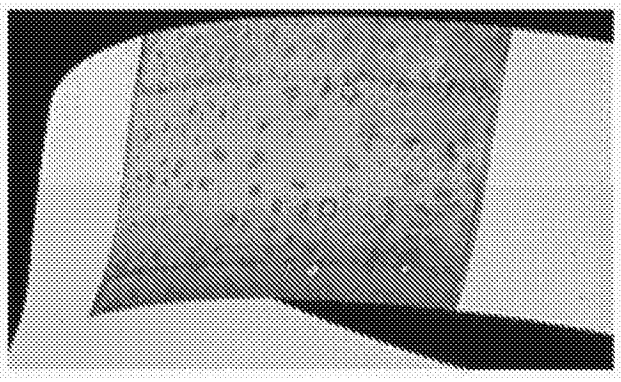


图8a

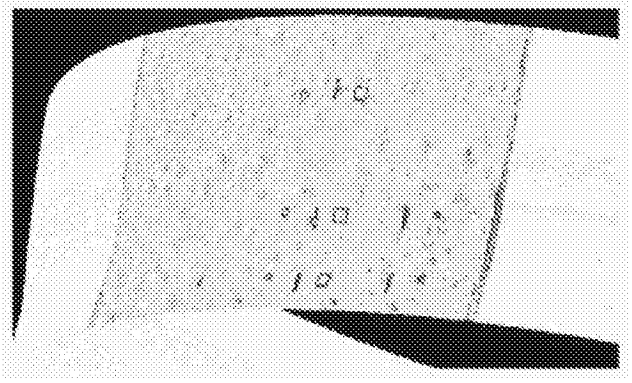


图8b