(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 101419193 B
(45)授权公告日 2013.01.02

(21)申请号 200810179972.6

(22)申请日 2008.10.10

(30)优先权数据
267134/2007 2007.10.12 JP

(73)专利权人 株式会社东芝
地址 日本东京都

(72)发明人 鲤沼宏明

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
代理人 王英

(51)Int.Cl.
G01N 29/04(2006.01)
G01B 17/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 11-287790 A,1999.10.19, 说明书 11-22 段,图 1-4.
JP 11-287789 A,1999.10.19, 说明书 7-21 段,图 1.
JP 2002310998 A,2002.10.23, 权利要求 1-12.
WO 2007004303 A1,2007.01.11, 说明书 16-25 段,图 1-5.
戴波 等. 基于最大熵谱估计的管道腐蚀超声内检测系统.《机床与液压》.2007, 第 35 卷(第 7 期),105-109.

审查员 汪磊

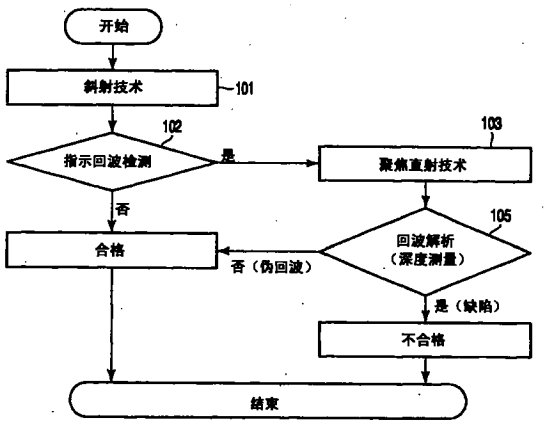
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 7 页

(54)发明名称

涡轮发电机端环的缺陷检测方法

(57)摘要

一种涡轮发电机端环的缺陷检测方法,包括:第一超声测试步骤(101),用于采用斜射技术对涡轮发电机端环进行超声测试;第二超声测试步骤(103),用于当通过第一超声测试步骤(101)检测到指示回波时,则采用聚焦直射技术对涡轮发电机端环中检测到指示回波的部分进行超声测试;以及解析步骤(105),用于基于第二超声测试步骤(103)的测试结果来解析指示回波是缺陷回波还是伪回波。



CN 101419193 B

1. 一种涡轮发电机端环的缺陷检测方法，包括：

第一超声测试步骤 (101)，采用斜射技术对涡轮发电机端环 (1) 进行超声测试；

第二超声测试步骤 (103)，当通过所述第一超声测试步骤 (101) 检测到指示回波时，则采用聚焦直射技术对所述涡轮发电机端环 (1) 中检测到所述指示回波的部分进行超声测试；以及

解析步骤 (105)，基于所述第二超声测试步骤 (103) 的测试结果来解析所述指示回波是缺陷回波 (12) 还是伪回波 (8)。

2. 一种涡轮发电机端环的缺陷检测方法，包括：

第一超声测试步骤 (101)，采用斜射技术对涡轮发电机端环 (1) 进行超声测试；

第二超声测试步骤 (104)，当通过所述第一超声测试步骤 (101) 检测到指示回波时，则采用短路径衍射技术 (SPOD) 对所述涡轮发电机端环 (1) 中检测到所述指示回波的部分进行超声测试；以及

解析步骤 (105)，基于所述第二超声测试步骤 (104) 的测试结果来解析所述指示回波是缺陷回波 (12) 还是伪回波 (8)。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的涡轮发电机端环的缺陷检测方法，还包括缺陷深度测量步骤，当所述解析步骤的解析结果是缺陷回波 (12) 时，则测量所述缺陷回波的缺陷深度。

涡轮发电机端环的缺陷检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及通过超声测试的涡轮发电机端环缺陷检测方法。

背景技术

[0002] 涡轮发电机端环的超声测试用于检测缺陷，例如在端环表面上出现的应力腐蚀裂纹。端环超声测试是在不拆卸端环的装配状态下进行。斜射技术通常应用于端环超声测试。在采用斜射技术的超声测试中，使用斜射探头来扫描端环表面的缺陷。通过检测缺陷回波来确定检测部位，其中缺陷回波是从缺陷反射回来的回波。

[0003] 图 11 是示出在采用斜射技术的超声测试中斜射探头的超声波发射 / 接收状态的示意图。图 12 是示出斜射探头的接收输入和在采用斜射技术的超声测试中超声波传播时间之间的关系的波形图。在图 12 中，纵轴表示斜射探头的接收输入，横轴表示超声波的传播时间 (束径长度 (beam pathlength))。即，图 12 在 A- 扫描中显示。在直流 (DC) 表示中示出图 12。对于如图 11 或图 12 中的那些相同的部件标记相同的参考标号并省略了其详细描述。类似地，下面省略了详细描述。

[0004] 斜射探头 2 安装在端环 1 的外圆周表面的表面上。在端环 1 的内圆周表面存在缺陷 4 的情况下，当超声波束 3 从斜射探头 2 入射时，超声波束 3 被缺陷 4 反射。通过缺陷 4 反射的反射波通过斜射探头 2 接收。例如，缺陷 4 是应力腐蚀裂纹。这时，如图 12 所示，在 A- 扫描屏幕中显示传输脉冲 5 和缺陷回波 6。

[0005] 在端环 1 的内圆周表面没有缺陷 4 的情况下，即使超声波束 3 从斜射探头 2 入射，斜射探头 2 也不会接收到在内圆周表面上反射的反射波。这是因为在作为底部的端环内圆周表面上没有反射体。因此，在不存在缺陷 4 的情况下，在 A- 扫描屏幕中仅显示传输脉冲 5，而不显示缺陷回波 6。

[0006] 在这种方式中通过使用采用斜射技术的超声测试，能够容易地检测到缺陷 4。然而，当检查涡轮发电机端环的缺陷时，应当对伪回波的检测加以注意。

[0007] 参照图 13 至 16 描述了在采用斜射技术的超声测试中检测到伪回波的实例。图 13 是示出检测由轴收缩装配部分 7 引起的伪回波 8 的示意图。图 14 是检测由轴收缩装配部分 7 引起的伪回波 8 在 A- 扫描 DC 表示中的波形图。图 15 是示出检测由端环 1 的短路环 9 接合部分引起的伪回波 8 的示意图。图 16 是检测由端环 1 的短路环 9 接合部分引起的伪回波 8 在 A- 扫描 DC 表示的波形图。

[0008] 如图 13 所示，在端环 1 内圆周表面上提供轴收缩装配部分 7。轴收缩装配部分 7 通常具有与端环 1 接触的基本呈矩形的切面。如图 15 所示，沿着圆周方向在端环 1 内圆周表面上设置短路环 9。短路环 9 通常通过分割为多个部分来在圆周方向上设置。因此，分割的短路环 9 中的一部分的边缘成为与分割的短路环 9 中的另一部分的短路环接合部分。

[0009] 如果当端环 1 的内圆周表面上存在轴收缩装配部分 7 的边缘或短路环 9 的接合部分时进行采用斜射技术的超声测试，则将发生以下情况。

[0010] 从斜射探头 2 入射的超声波束 3 被作为反射体的轴收缩装配部分 7 的边缘或短路

环 9 的接合部分反射。由反射体反射的反射波被斜射探头 2 接收。如图 14 和 16 所示，反射波成为伪回波 8。当在 A- 扫描中显示时，难于从图 12 中所示的缺陷回波 6 中区分出伪回波 8。

[0011] 特开号 No.11-287790 的日本专利申请中描述的方法公知为一种从伪回波中区分出缺陷回波的方法。在根据本技术的方法中，首先通过深度扫描来进行采用斜射技术的超声测试。接着，对根据超声测试得到的测试信号执行裂缝光谱处理 (SSP :split spectrum process) 来确定指示长度。基于该指示长度来解析指示是缺陷回波还是伪回波。

[0012] 然而，上述解析方法适用于奥氏体不锈钢。奥氏体不锈钢相比铁氧体材料具有更大的晶粒。奥氏体不锈钢的晶粒通常在焊接边缘或类似位置处变得更大。该解析方法旨在解析由在这种奥氏体不锈钢的焊接边缘附近入射的超声波被反射、折射或散射生成的伪回波。相反地，当检测到涡轮发电机端环的缺陷时产生的伪回波并不由材料晶粒的尺寸所致。如图 13 至 16 所示，涡轮发电机端环的伪回波由比如在端环 1 的内圆周表面上存在的轴收缩装配部分 7 或短路环 9 接合部分这样的结构所致。因此，通过使用在 KOKAI 公开号 No.11-287790 的日本专利申请或类似的申请中描述的解析方法，难于从涡轮发电机端环的缺陷回波中区分出伪回波。

[0013] 因此，通过以下方式对涡轮发电机端环 1 的缺陷进行解析。如果在采用斜射技术的超声测试中显示指示回波，那么还参考内部结构图。如果在显示指示回波的部分出存在例如轴收缩装配部分 7 或短路环 9 接合部分这样的结构，则认为指示回波是伪回波。如果不存在这种结构，则认为该指示回波是缺陷回波。然而，该解析方法不能充分地检测涡轮发电机端环尤其是内部结构附近的缺陷。

发明内容

[0014] 本发明目的在于提供一种涡轮发电机端环的缺陷检测方法，其能识别通过涡轮发电机端环的超声测试所检测到的缺陷回波或伪回波。

[0015] 根据本发明的一方面，涡轮发电机端环的缺陷检测方法包括 :第一超声测试步骤，采用斜射技术对涡轮发电机端环进行超声测试 ;第二超声测试步骤，如果通过第一超声测试步骤检测到指示回波，则采用聚焦直射技术对涡轮发电机端环中检测到指示回波的部分进行超声测试 ;以及解析步骤，基于通过第二超声测试步骤的测试结果来解析该指示回波是缺陷回波还是伪回波。

附图说明

[0016] 图 1 是示出根据本发明第一实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法的过程的流程图 ;

[0017] 图 2 是示出根据第一实施例的采用聚焦直射技术的超声测试中聚焦直射探头的超声波发射 / 接收状态的示意图 ;

[0018] 图 3 是示出根据第一实施例采用聚焦直射技术的超声测试中超声波接收在 A- 扫描 DC 表示中的波形图 ;

[0019] 图 4 是放大图 3 中涡轮发电机端环的底部波形在 A- 扫描 RF 表示中的波形图 ;

[0020] 图 5 是示出根据本发明第二实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法的流程图 ;

[0021] 图 6 是示出根据第二实施例采用 SPOD 技术的超声测试中探头的超声波发射 / 接收状态的示意图；

[0022] 图 7 是示出根据第二实施例采用 SPOD 技术的超声测试中超声波接收在 A- 扫描 RF 表示中的波形图；

[0023] 图 8 是示出当存在轴收缩装配部分时根据第二实施例采用 SPOD 技术的超声测试中探头的超声波发射 / 接收状态的示意图；

[0024] 图 9 是示出当存在短路环接合部分时根据第二实施例采用 SPOD 技术的超声测试中探头的超声波发射 / 接收状态的示意图；

[0025] 图 10 是示出根据第二实施采用 SPOD 技术的超声测试中超声波接收在 A- 扫描中的波形图；

[0026] 图 11 是示出采用斜射技术的超声测试中斜射探头的超声波发射 / 接收状态的示意图；

[0027] 图 12 是示出采用斜射技术的超声测试中超声波接收在 A- 扫描 DC 表示中的波形图；

[0028] 图 13 是示出采用斜射技术的超声测试中检测由轴收缩装配部分引起的伪回波的示意图；

[0029] 图 14 是示出采用斜射技术的超声测试中检测由轴收缩装配部分引起的伪回波在 A- 扫描 DC 表示中的波形图；

[0030] 图 15 是示出采用斜射技术的超声测试中检测由端环的短路环接合部分引起的伪回波的示意图；

[0031] 图 16 是示出采用斜射技术的超声测试中检测由端环的短路环接合部分引起的伪回波在 A- 扫描 DC 表示中的波形图。

具体实施方式

[0032] 下面将通过参考附图对本发明实施例进行描述。

[0033] （第一实施例）

[0034] 图 1 是示出根据本发明第一实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法的过程的流程图。

[0035] 如图 1 所示，根据以下过程来应用根据第一实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法。

[0036] 首先，操作员采用斜射技术对涡轮发电机端环进行超声测试（步骤 101）。操作员确定通过采用斜射技术的超声测试是否检测到指示回波（步骤 102）。如果操作员确定没有检测到指示回波，那么操作员判断该端环通过了该测试（涡轮发电机端环没有缺陷）（步骤 102 为否）。如果操作员确定检测到指示回波（步骤 102 为是），那么操作员采用聚焦直射技术对涡轮发电机端环中检测到指示回波的部分进行超声测试（步骤 103）。操作员根据采用聚焦直射技术的超声测试结果来解析该指示回波是缺陷回波还是伪回波（步骤 105）。如果操作员确定该指示回波为缺陷回波作为解析结果，则操作员确定涡轮发电机端环具有缺陷。如果操作员确定涡轮发电机端环具有缺陷，则操作员对缺陷深度进行测量。

[0037] 参考图 2 至图 4 对采用聚焦直射技术的超声测试（图 1 中步骤 103）以及回波解

析（图 1 中步骤 105）的细节进行描述。这里所描述的缺陷检测方法对涡轮发电机端环的内圆周表面上的缺陷进行检测。

[0038] 图 2 示出了聚焦直射探头 10 的超声波发射 / 接收状态。图 3 示出了在 A- 扫描 DC 表示中采用聚焦直射技术的超声测试所接收的超声波 3 的波形。图 4 通过 A- 扫描射频 (RF) 表示放大了图 3 中涡轮发电机端环的底部波形。

[0039] 采用聚焦直射技术的超声测试是一种适于对末梢分叉到多个部分的密集缺陷进行检测的方法。根据该方法，可捕捉到密集缺陷的一个分裂末梢。因此，能够对在应力腐蚀裂纹中常见的密集缺陷进行有效检测。

[0040] 如图 2 所示，通过利用聚焦直射探头 10 接收从聚焦直射探头 10 入射的入射超声波 3 的反射波，来进行采用聚焦直射技术的超声测试。

[0041] 聚焦直射探头 10 安装在端环 1 的外圆周表面的表面上。如果在端环 1 的内圆周表面上存在缺陷 4，当从聚焦直射探头 10 入射超声波束 3 时，聚焦直射探头 10 接收由缺陷 4 的边缘反射的反射波（缺陷末梢回波 12）。例如，缺陷 4 是应力腐蚀缺陷或疲劳断裂。然后，聚焦直射探头 10 接收由端环 1 内圆周表面反射的反射波（底部回波 11）。因此，如图 3 和图 4 所示，在 A- 扫描屏幕中显示传输脉冲 5、缺陷末梢回波 12 和底部回波 11。通过检测缺陷末梢回波 12 和底部回波 11 之间的光束长度差能够确定缺陷 4 的深度。

[0042] 如果在端环 1 的内圆周表面上不存在缺陷 4，则当从聚焦直射探头 10 入射超声波束 3 时，聚焦直射探头 10 仅接收到由端环 1 内圆周表面反射的反射波。在这种情况下，在 A- 扫描屏幕上只显示传输脉冲 5 和底部回波 11，而不显示缺陷末梢回波 12。例如，如果在端环 1 内圆周表面上存在轴收缩装配部分 7 或短路环 9 接合部分，就不会产生类似缺陷末梢回波 12 的伪回波。这时，在 A- 扫描屏幕上只显示底部回波 11。因此，操作员可以确定端环 1 没有缺陷。

[0043] 根据本实施例，能够实现如下所述的操作效果。

[0044] 如图 3 和图 4 所示，在采用聚焦直射技术的超声测试中，当存在缺陷 4 时得到的缺陷末梢回波 12 小于底部回波 11。因此，对于采用聚焦直射技术的超声测试而言，难于像采用斜射技术的超声测试一样通过广泛地移动探头进行扫描来检测缺陷 4。这种超声测试需要操作员的精通。

[0045] 根据本实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法是采用斜射技术的超声测试与采用聚焦直射技术的超声测试的结合。根据本缺陷检测方法，采用聚焦直射技术对在采用斜射技术的超声测试中获得指示回波的部分进行超声测试。通过采用聚焦直射方法的超声测试来确定指示回波是由缺陷 4 所致还是伪回波。根据该方法，操作员能够便捷可靠地仅检测缺陷 4。采用聚焦直射技术的超声测试能捕捉密集缺陷的一个分裂末梢。因此，如果缺陷 4 是在应力腐蚀裂纹中常见的密集缺陷，则本缺陷检测方法能够有效地检测缺陷。

[0046] 本缺陷检测方法不仅能通过采用聚焦直射技术对在采用斜射技术的超声测试中得到指示回波的部分进行超声测试来确定存在 / 不存在缺陷，还可以测量缺陷的深度。

[0047] 采用斜射技术的超声测试具有高检测灵敏度。然而，当应用采用斜射技术的超声测试时，将会出现伪回波。另一方面，采用聚焦直射技术的超声测试具有低检测灵敏度。然而，当应用采用聚焦直射技术的超声测试时，将不会出现伪回波。因此，根据本检测方法，首先应用具有高检测灵敏度的采用斜射技术的超声测试。接着，对接收到指示回波的部分继

续应用不会出现伪回波的采用聚焦直射技术的超声测试。因此，操作员可以利用少量时间和精力在不需端环内部结构图的情况下可靠地检测涡轮发电机端环 1 的缺陷 4。

[0048] 因此，即使由于在类似涡轮发电机端环这样的端环的内圆周表面上提供的内部结构而产生了伪回波，操作员也能够在不需端环内部结构图的情况下通过采用本缺陷检测方法来从伪回波中区分出缺陷回波。因此，操作员能够有效地检测涡轮发电机端环缺陷。

[0049] 另外，可在没有拆卸涡轮发电机转子的情况下应用本缺陷检测方法。因此，根据本缺陷检测方法的测试可以在安装涡轮发电机的工作现场进行。因此，操作员能缩短进行这种测试所需的时间。

[0050] （第二实施例）

[0051] 图 5 是示出根据本发明第二实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法的过程的流程图。

[0052] 根据本实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法是通过以采用短路径衍射技术 (SPOD) 的超声测试（步骤 104）取代根据图 1 所示第一实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法中采用聚焦直射技术的超声测试（图 1 中的步骤 103）而得到的。在其它方面，根据本实施例的缺陷检测方法与根据第一实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法的过程一样。

[0053] 如图 5 所示，根据下面的过程进行根据本实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法。

[0054] 首先，操作员采用斜射技术对涡轮发电机端环进行超声测试（步骤 101）。操作员确定通过采用斜射技术的超声测试是否检测到指示回波（步骤 102）。如果操作员确定没有检测到指示回波，则操作员判断端环通过了测试（涡轮发电机端环没有缺陷）（步骤 102 中为否）。如果操作员确定检测到指示回波（步骤 102 中为是），则操作员采用 SPOD 技术对涡轮发电机端环中检测到指示回波的部分进行超声测试（步骤 104）。操作员根据采用 SPOD 技术的超声测试结果来解析指示回波是缺陷回波还是伪回波（步骤 105）。如果操作员确定指示回波是缺陷回波作为解析的结果，则操作员确定涡轮发电机端环具有缺陷。如果操作员确定涡轮发电机端环具有缺陷，则操作员对缺陷深度进行测量。

[0055] 参考图 6 和图 7 对采用 SPOD 技术的超声测试（图 5 中步骤 104）以及回波解析（图 5 中步骤 105）的细节进行描述。这里所描述的缺陷检测方法对涡轮发电机端环内圆周表面上的缺陷进行检测。

[0056] 图 6 示出了探头 13/14 的超声波发射 / 接收状态。图 7 示出了在 A- 扫描 RF 表示中采用 SPOD 技术的超声测试所接收的超声波 3 的波形。

[0057] 采用 SPOD 技术的超声测试是一种适于对末梢闭合的缺陷进行检测的方法。根据该测试，能够对在疲劳断裂中常见的末梢闭合的缺陷（定向缺陷）进行有效检测。

[0058] 如图 6 所示，通过由接收直射探头 14 接收从发射斜射探头 13 入射的入射超声波 3 的反射波，来进行采用 SPOD 技术的超声测试。

[0059] 发射斜射探头 13 安装在端环 1 外圆周表面的表面上。接收直射探头 14 安装在端环 1 外圆周表面直接位于缺陷 4 上方的表面上。如果在端环 1 的内圆周表面上存在缺陷 4，当从发射斜射探头 13 入射超声波束 3 时，直射探头 14 接收到由缺陷 4 的边缘反射的反射波（缺陷末梢回波 12）。例如，缺陷 4 是应力腐蚀裂纹或疲劳断裂。然后，接收直射探头 14 接收由端环 1 内圆周表面反射的反射波（底部回波 11）。因此，如图 7 所示，在 A- 扫描屏幕

中显示了缺陷末梢回波 12 和底部回波 11。通过检测缺陷末梢回波 12 和底部回波 11 之间的光束长度差来确定缺陷 4 的深度。

[0060] 参考图 8 至图 10 对采用 SPOD 技术的超声测试（图 5 中的步骤 104）以及回波解析（图 5 中的步骤 105）的细节进行描述。这里所描述的缺陷检测方法对涡轮发电机端环内圆周表面上的缺陷进行检测。

[0061] 图 8 示出了当在端环 1 内圆周表面上存在轴收缩装配部分 7 时探头 13/14 的超声波发射 / 接收状态。图 9 示出了当在端环 1 内圆周表面上存在短路环 9 的接合部分时探头 13/14 的超声波发射 / 接收状态。图 10 示出了在 A- 扫描 RF 表示中采用 SPOD 技术的超声测试所接收的超声波 3 的波形。

[0062] 如果在端环 1 的内圆周表面上没有缺陷 4，当从发射斜射探头 13 入射超声波束 3 时，接收直射探头 14 仅接收由端环 1 内圆周表面反射的反射波。在这种情况下，如图 10 所示，在 A- 扫描屏幕上只显示底部回波 11，而不显示缺陷末梢回波 12。即使存在图 8 中所示的轴收缩装配部分 7 或图 9 中所示的短路环 9 接合部分，也不会产生与图 7 中所示缺陷末梢回波 12 相对应的伪回波。即，如果由于轴收缩装配部分 7 或短路环 9 接合部分而产生了指示回波，在 A- 扫描屏幕上就只显示伪回波 8（底部回波 11）。因此，操作员能够确定端环 1 没有缺陷。

[0063] 根据本实施例，能够实现如下所述的操作效果。

[0064] 根据本实施例的涡轮发电机端环缺陷检测方法是采用斜射技术的超声测试与采用 SPOD 技术的超声测试的结合。如图 7 所述，在采用 SPOD 技术的超声测试中，与根据第一实施例的采用聚焦直射技术的超声测试一样，当缺陷 4 存在时得到的缺陷末梢回波 12 小于底部回波 11。因此，对于采用 SPOD 技术的超声测试而言，难于通过广泛地移动探头进行扫描来检测缺陷 4。因此，在本缺陷检测方法中，与第一实施例一样，采用 SPOD 技术对通过采用斜射技术的超声测试接收到指示回波的部分进行超声测试。通过采用 SPOD 技术的超声测试来确定指示回波是由于缺陷 4 所致还是伪回波。根据本方法，操作员能够便捷可靠地仅检测缺陷 4。采用 SPOD 技术的超声测试能够有效地检测在疲劳断裂中常见的末梢闭合的缺陷 4。如图 8 至图 10 所示，当使用采用 SPOD 技术的超声测试时，在存在内部结构时仅得到底部回波 8。因此，操作员能够可靠地解析缺陷回波和伪回波。

[0065] 本缺陷检测方法不仅能够通过采用 SPOD 技术对在采用斜射技术的超声测试中得到指示回波的部分进行超声测试来确定存在 / 不存在缺陷，还可以测量缺陷的深度。

[0066] 采用斜射技术的超声测试具有高检测灵敏度。然而，当应用采用斜射技术的超声测试时，将会出现伪回波。另一方面，采用 SPOD 技术的超声测试具有低检测灵敏度。然而，当应用采用 SPOD 技术的超声测试时，将不会出现伪回波。因此，根据本检测方法，首先应用具有高检测灵敏度的采用斜射技术超声测试。接着，对接收到指示回波的部分继续采用不会出现伪回波的采用 SPOD 技术的超声测试。因此，操作员可以利用少量时间和精力在不需端环内部结构图的情况下可靠地检测涡轮发电机端环 1 的缺陷 4。

[0067] 另外，在采用 SPOD 技术的超声测试中允许接收直射探头 14 自由地移动而将发射斜射探头 13 定位在检测到缺陷回波或伪回波的位置。因此，操作员能够通过搜索将被解析的波形的峰值而使解析更容易。相反地，在采用衍射时差技术 (TOFD) 的超声测试中，例如，需将发射探头和接收探头设置为关于被解析的指示两侧对称。因此，使用采用 TOFD 技术超

声测试的缺陷检测方法不能获得上述采用 SPOD 技术超声测试的效果，因为发射探头和接收探头的位置是固定的。

[0068] 因此，即使由于类似涡轮发电机端环这样的端环的内圆周表面上的内部结构而产生了伪回波，操作员能够在不需要端环内部结构图的情况下通过使用本缺陷检测方法来从伪回波中区分出缺陷回波。因此，操作员能有效地检测涡轮发电机端环的缺陷。

[0069] 另外，可在没有拆卸涡轮发电机转子的情况下应用本缺陷检测方法。因此，根据本缺陷检测方法的测试可以在安装有涡轮发电机的现场进行。从而，操作员能缩短进行这种测试所需的时间。

[0070] 另外，在各个实施例中，采用了聚焦直射技术和 SPOD 技术中的一种技术，但是可以应用聚焦直射技术和 SPOD 技术这两种技术。在这种情况下，可以首先进行一种技术或另一种技术的测试。

[0071] 对于本领域技术人员而言，将会想到其它优点和修改。因此，本发明在更大范围内并不局限于上述具体细节和代表性实施例。因此，在不偏离由所附权利要求及其等价体所定义的一般性发明原理的精神和范围的情况下可以进行各种修改。

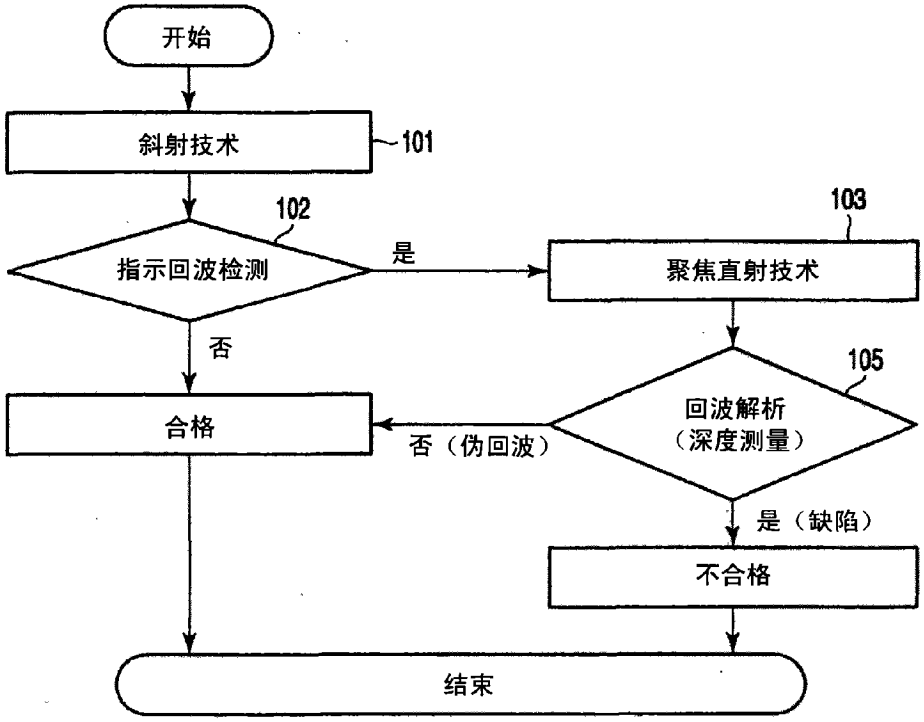

开始
斜射技术
101
102
指示回波检测
是
103
聚焦直射技术
否
105
回波解析
（深度测量）
合格
否（伪回波）
是（缺陷）
不合格
结束

图 1

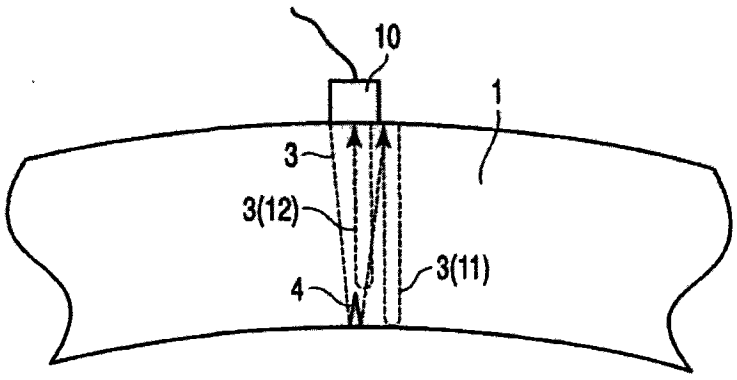

10
1
3
3(12)
4
3(11)

图 2

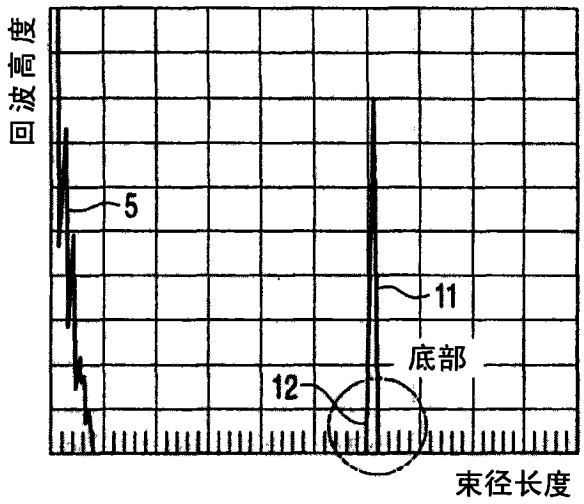


图 3

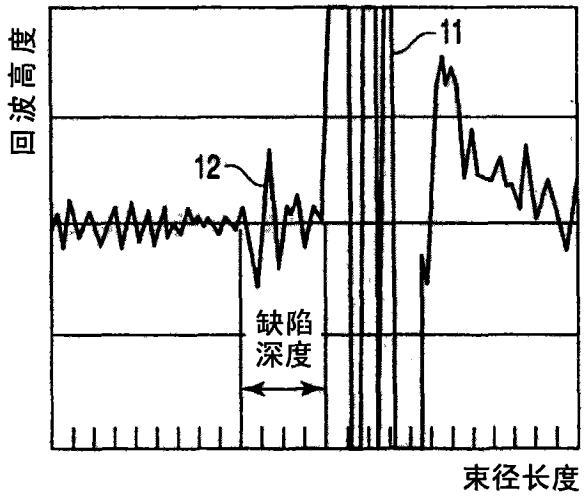


图 4

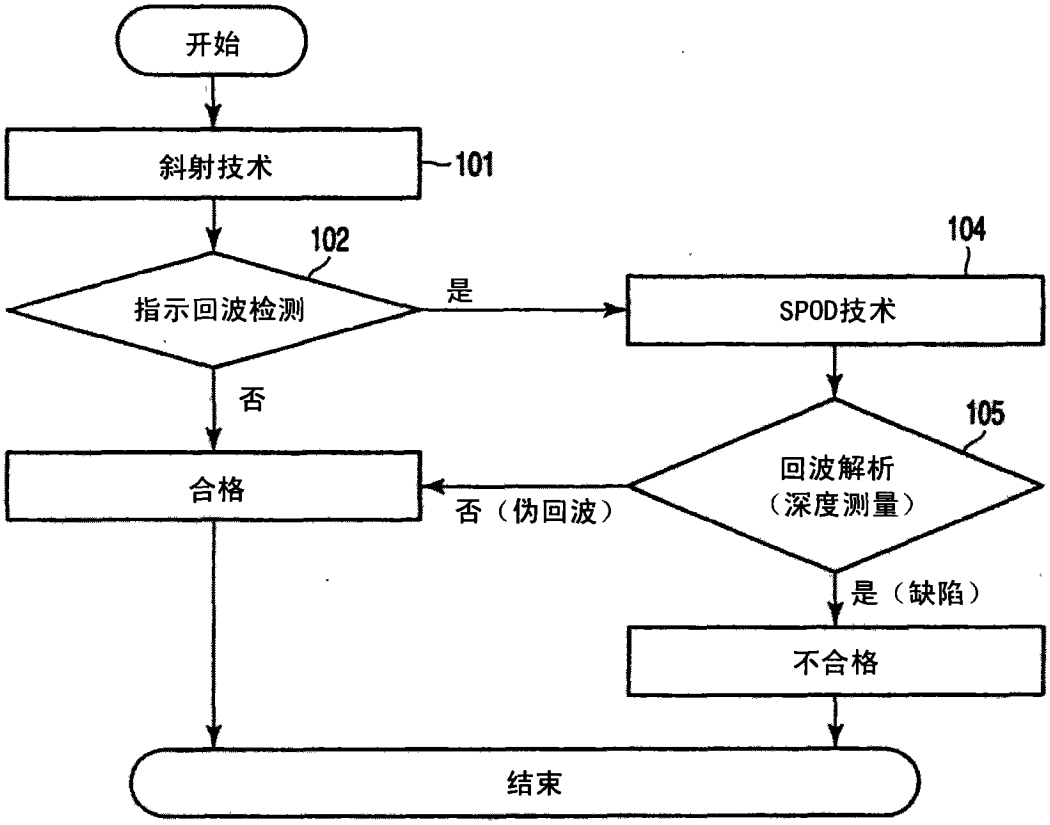

开始
斜射技术
101
102
指示回波检测
是
104
SPOD技术
否
105
回波解析
（深度测量）
合格
否（伪回波）
是（缺陷）
不合格
结束

图 5

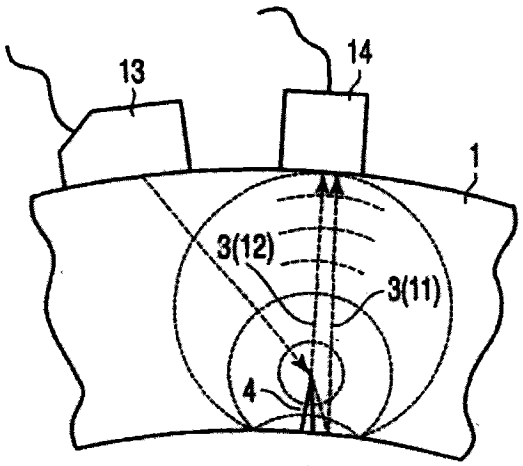

13
14
1
3(12)
3(11)
4

图 6

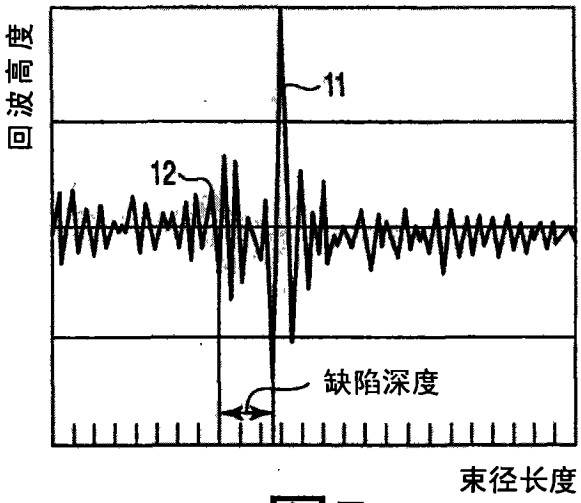


图7

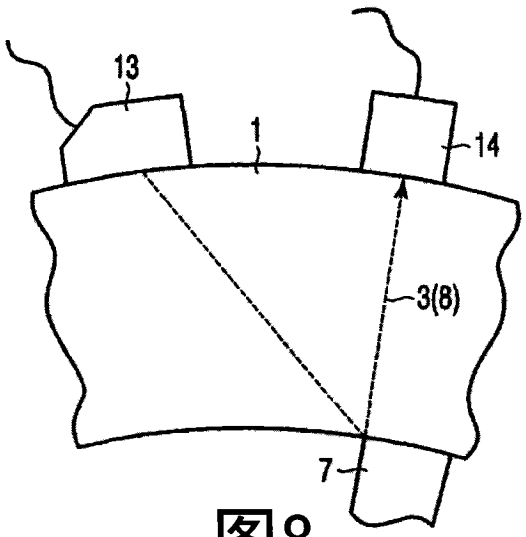


图8

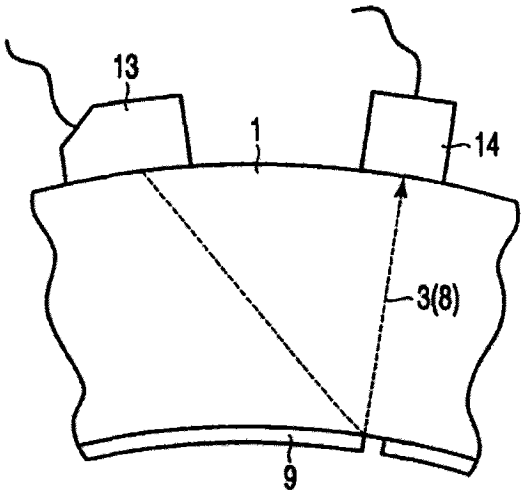


图 9

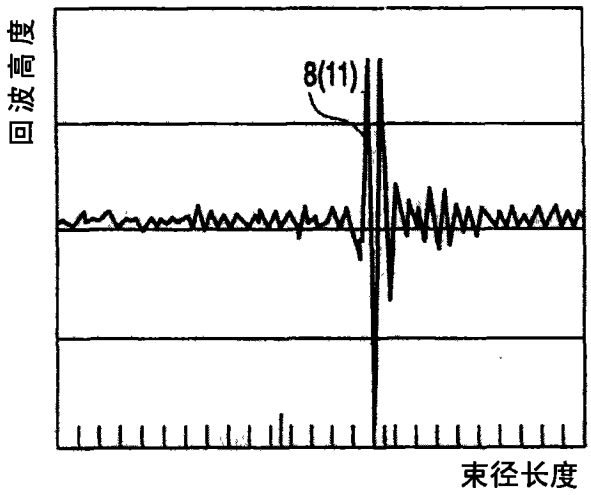


图 10

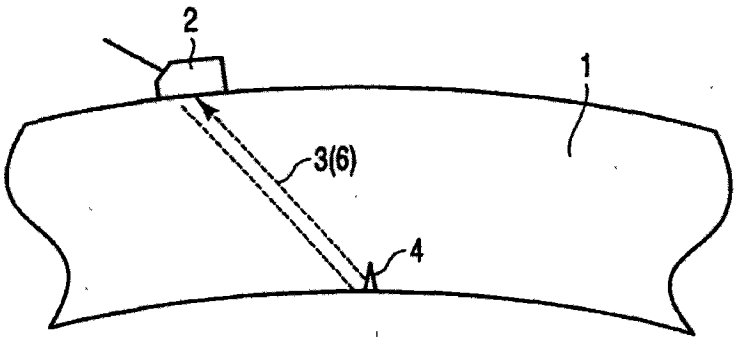


图 11

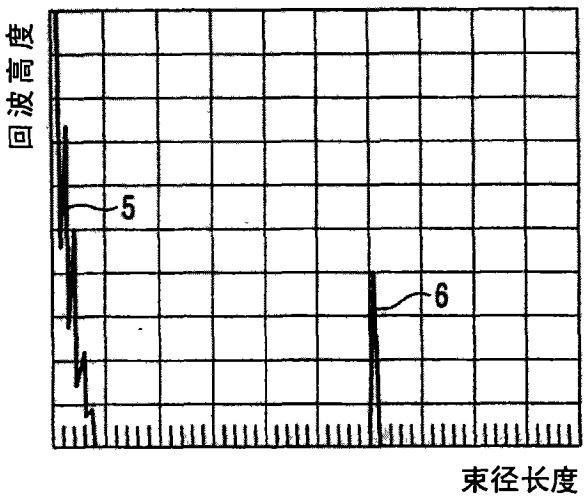


图 12

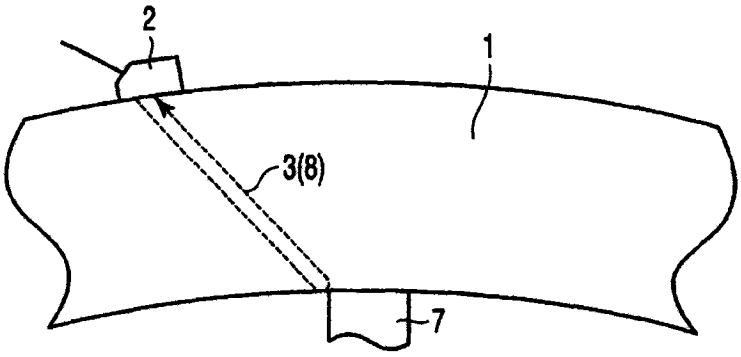


图 13

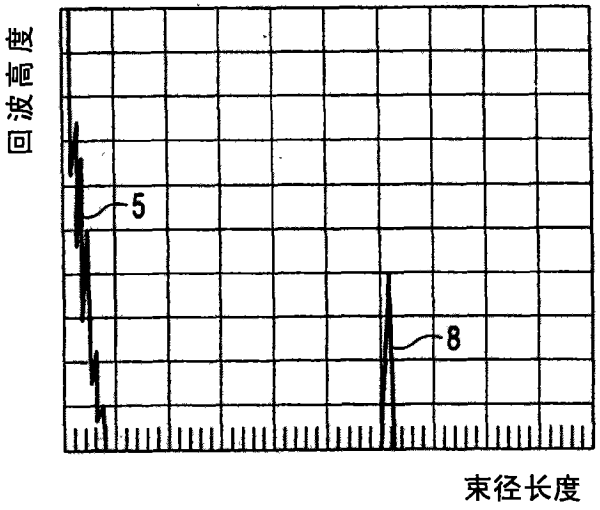


图 14

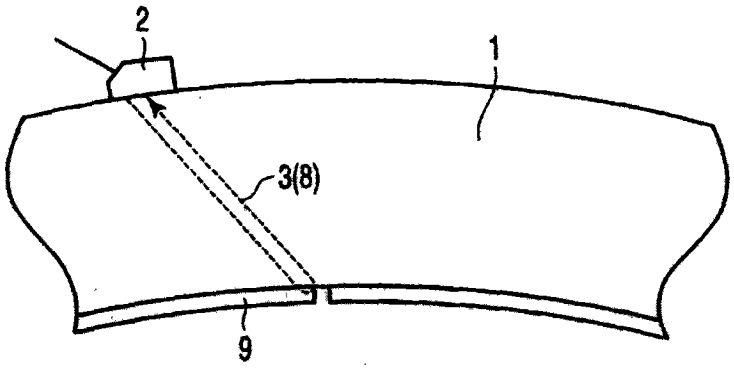


图 15

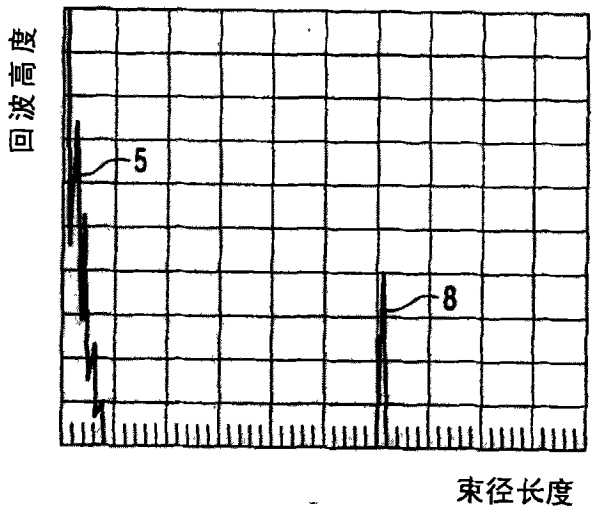


图 16