



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104937408 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201480005468. 8

代理人 徐殿军

(22) 申请日 2014. 01. 22

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G01N 29/04(2006. 01)

2013-018560 2013. 02. 01 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 07. 21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/051307 2014. 01. 22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/119454 JA 2014. 08. 07

(71) 申请人 新日铁住金株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 饭星允规 池田佳士郎 田坂隆弘

小野田繁

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

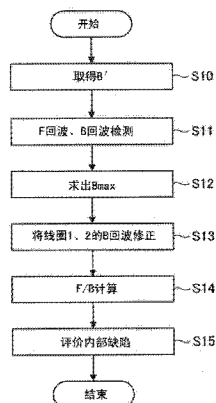
权利要求书2页 说明书15页 附图14页

(54) 发明名称

缺陷检查方法及缺陷检查装置

(57) 摘要

该缺陷检查方法具有 :第 1 工序,使钢板的表面产生超声波振动 ;第 2 工序,检测上述超声波振动的 F 回波及 B 回波 ;第 3 工序,基于在除了上述钢板的端部以外的通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值,对在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值进行修正 ;以及第 4 工序,关于上述钢板的端部,基于在上述第 2 工序中得到的上述 F 回波的检测值和在上述第 3 工序中修正后的上述 B 回波的检测值,进行上述钢板的内部缺陷的评价。



1. 一种缺陷检查方法,其特征在于,具有:

第 1 工序,沿着钢板的宽度方向使上述钢板的表面产生超声波振动;

第 2 工序,检测上述超声波振动的 F 回波及 B 回波;

第 3 工序,基于在上述钢板的宽度方向上在除了上述钢板的端部以外的通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值,对在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值进行修正;以及

第 4 工序,关于上述通常评价区域,基于在上述第 2 工序中得到的上述 F 回波的检测值和上述 B 回波的检测值来进行上述钢板的内部缺陷的评价,关于上述钢板的端部,基于在上述第 2 工序中得到的上述 F 回波的检测值和在上述第 3 工序中修正后的上述 B 回波的检测值来进行上述内部缺陷的评价。

2. 如权利要求 1 所述的缺陷检查方法,其特征在于,

上述第 3 工序具有:

基于在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值,来计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值的工序,以及

将在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值,修正为从上述基准值减去预先设定的设定修正值而得到的值的工序。

3. 如权利要求 2 所述的缺陷检查方法,其特征在于,

上述设定修正值是预先在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值、与预先在上述通常评价区域中存在重缺陷水平的上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值的差分。

4. 如权利要求 1 所述的缺陷检查方法,其特征在于,

上述第 3 工序具有:

基于在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值,来计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值的工序;

基于在上述通常评价区域中检测出的上述 F 回波的检测值和上述基准值来计算设定修正值的工序;以及

将在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值,修正为从上述基准值减去上述设定修正值而得到的值的工序。

5. 如权利要求 2~4 中任一项所述的缺陷检查方法,其特征在于,

上述基准值是在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值中的最大值。

6. 如权利要求 2~4 中任一项所述的缺陷检查方法,其特征在于,

上述基准值是在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值。

7. 如权利要求 2~4 中任一项所述的缺陷检查方法,其特征在于,

上述基准值是在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值的平均值或中值。

8. 一种缺陷检查装置,其特征在于,具备:

电磁超声波探头,沿着钢板的宽度方向使上述钢板的表面产生超声波振动,并具有多

个对上述超声波振动的 F 回波及 B 回波进行检测的线圈；

修正执行部,基于由包含在通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,对由包含在上述钢板的端部中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值进行修正,上述通常评价区域为上述钢板的宽度方向上除了上述钢板的端部以外的区域；

F/B 运算部,计算上述 F 回波相对于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值的比率,并计算上述 F 回波的检测值相对于由上述修正执行部修正后的上述 B 回波的检测值的比率；以及

缺陷评价部,基于上述比率评价上述钢板的内部缺陷。

9. 如权利要求 8 所述的缺陷检查装置,其特征在于,

上述修正执行部,

基于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值；

将由包含在上述钢板的端部中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,修正为从上述基准值减去预先设定的设定修正值而得到的值。

10. 如权利要求 9 所述的缺陷检查装置,其特征在于,

上述设定修正值是预先在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值、与预先在上述通常评价区域中存在重缺陷水平的上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值的差分值。

11. 如权利要求 8 所述的缺陷检查装置,其特征在于,

还具备:修正值运算部,

上述修正值运算部基于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值,并基于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 F 回波的检测值和上述基准值来计算设定修正值；

上述修正执行部将由包含在上述钢板的端部的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,修正为从上述基准值减去上述设定修正值而得到的值。

12. 如权利要求 9 ~ 11 中任一项所述的缺陷检查装置,其特征在于,

上述基准值是由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值中的最大值。

13. 如权利要求 9 ~ 11 中任一项所述的缺陷检查装置,其特征在于,

上述基准值是由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值。

14. 如权利要求 9 ~ 11 中任一项所述的缺陷检查装置,其特征在于,

上述基准值是由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值的平均值或中值。

缺陷检查方法及缺陷检查装置

[0001] 本申请基于 2013 年 2 月 1 日在日本提出的特愿 2013 - 018560 号主张优先权, 这里引用其内容。

技术领域

[0002] 本发明涉及缺陷检查方法及缺陷检查装置。

背景技术

[0003] 最近, 周知有通过使用超声波非接触地检测钢铁材料等的内部缺陷 (例如夹杂物、内部裂纹、氢类缺陷等) 的电磁超声波探头。例如, 在专利文献 1 中, 记载有具备永久磁铁和适合于探伤脉冲的形成及反射脉冲的接收的电感线圈的电磁超声波探头 (EMAT)。此外, 在专利文献 2 中, 记载有具备用来对被检体施加偏置磁场的磁化器、和用来将超声波向被检体发送并将由被检体反射的超声波接收的多个传感器线圈的阵列型电磁超声波探头 (EMAT)。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献 1 : 日本特许 4842922 号公报

[0006] 专利文献 2 : 日本特开 2005 - 214686 号公报

发明概要

[0007] 发明要解决的课题

[0008] 但是, 本发明者们发现了以下问题: 在使用上述电磁超声波探头对钢板等被检体 (检查对象物) 进行探伤的情况下, 在将被检体切换为希望的制品尺寸的前阶段中, 被检体的边缘附近的反射波相对于边缘附近以外的反射波衰减。特别是, 由边缘附近的底面反射的反射波相对于由边缘附近以外的底面反射的反射波显著地衰减。考虑这是因为, 通过轧制或冷却的过程, 边缘附近的结晶组织具有与边缘附近以外的结晶组织不同的性质, 在边缘附近发生了声响各向异性等。上述电磁超声波探头由于使被检体产生横波, 所以声响各向异性的影响显著地显现。因此, 在根据由被检体的底面反射的反射波和由内部缺陷反射的反射波之比对内部缺陷进行评价 (等级分类) 的情况下, 有通过边缘附近的反射波的衰减而不能正确地评价内部缺陷的问题。

发明内容

[0009]

[0010] 所以, 本发明是鉴于上述课题而做出的, 目的是提供一种在电磁超声波探伤中能够高精度地检测检查对象物的边缘附近的反射波的新的且改良的缺陷检查方法及缺陷检查装置。

[0011] 用于解决课题的手段

[0012] 为了解决上述课题, 本发明采用以下的技术手段。

[0013] (1) 有关本发明的第 1 技术方案的缺陷检查方法, 具有: 第 1 工序, 沿着钢板的宽度方向使上述钢板的表面产生超声波振动; 第 2 工序, 检测上述超声波振动的 F 回波 (echo) 及 B 回波; 第 3 工序, 基于在上述钢板的宽度方向上在除了上述钢板的端部以外的通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值, 对在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值进行修正; 以及第 4 工序, 关于上述通常评价区域, 基于在上述第 2 工序中得到的上述 F 回波的检测值和上述 B 回波的检测值来进行上述钢板的内部缺陷的评价, 关于上述钢板的端部, 基于在上述第 2 工序中得到的上述 F 回波的检测值和在上述第 3 工序中修正后的上述 B 回波的检测值来进行上述内部缺陷的评价。

[0014] (2) 在上述 (1) 的技术方案中, 上述第 3 工序可以具有: 基于在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值, 来计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值的工序, 以及将在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值, 修正为从上述基准值减去预先设定的设定修正值而得到的值的工序。

[0015] (3) 在上述 (2) 的技术方案中, 上述设定修正值可以是预先在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值、与预先在上述通常评价区域中存在重缺陷水平的上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值的差分值。

[0016] (4) 在上述 (1) 的技术方案中, 上述第 3 工序可以具有: 基于在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值, 来计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值的工序; 基于在上述通常评价区域中检测出的上述 F 回波的检测值和上述基准值来计算设定修正值的工序; 以及将在上述钢板的端部检测出的上述 B 回波的检测值, 修正为从上述基准值减去上述设定修正值而得到的值的工序。

[0017] (5) 在上述 (2) ~ (4) 的任一项所述的技术方案中, 上述基准值可以是在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值中的最大值。

[0018] (6) 在上述 (2) ~ (4) 的任一项所述的技术方案中, 上述基准值可以是在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值。

[0019] (7) 在上述 (2) ~ (4) 的任一项所述的技术方案中, 上述基准值可以是在上述通常评价区域中检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值的平均值或中值。

[0020] (8) 有关本发明的第 2 技术方案的缺陷检查装置, 具备: 电磁超声波探头, 沿着钢板的宽度方向使上述钢板的表面产生超声波振动, 并具有多个对上述超声波振动的 F 回波及 B 回波进行检测的线圈; 修正执行部, 基于由在上述钢板的宽度方向上包含在除了上述钢板的端部以外的通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值, 对由包含在上述钢板的端部中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值进行修正; F/B 运算部, 计算上述 F 回波相对于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值的比率, 并计算上述 F 回波的检测值相对于由上述修正执行部修正后的上述 B 回波的检测值的比率; 以及缺陷评价部, 基于上述比率评价上述钢板的内部缺陷。

[0021] (9) 在上述 (8) 的技术方案中, 上述修正执行部可以基于由包含在上述通常评价

区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值;将由包含在上述钢板的端部中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,修正为从上述基准值减去预先设定的设定修正值而得到的值。

[0022] (10) 在上述 (9) 的技术方案中,上述设定修正值可以是预先在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值、与预先在上述通常评价区域中存在重缺陷水平的上述内部缺陷的状态下实验性地得到的上述 B 回波的检测值的差分值。

[0023] (11) 在上述 (8) 的技术方案中,也可以是如下构成:还具备修正值运算部,基于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,计算与在上述通常评价区域中不存在上述内部缺陷的状态下检测出的上述 B 回波的检测值相当的基准值,并基于由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 F 回波的检测值和上述基准值来计算设定修正值;上述修正执行部将由包含在上述钢板的端部中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值,修正为从上述基准值减去上述设定修正值而得到的值。

[0024] (12) 在上述 (9) ~ (11) 的任一项所述的技术方案中,上述基准值可以是由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值中的最大值。

[0025] (13) 在上述 (9) ~ (11) 的任一项所述的技术方案中,上述基准值可以是由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值。

[0026] (14) 在上述 (9) ~ (11) 的任一项所述的技术方案中,上述基准值可以是由包含在上述通常评价区域中的上述线圈检测出的上述 B 回波的检测值中的、除了比规定值小的值以外的值的平均值或中值。

[0027] 发明的效果

[0028] 根据上述各技术方案,在电磁超声波探伤中能够高精度地检测检查对象物的边缘附近的反射波。

附图说明

[0029] 图 1 是表示有关本发明的第 1 实施方式的电磁超声波装置的结构示意图。

[0030] 图 2 是表示从图 1 的 Y 方向观察的电磁超声波装置的结构示意图。

[0031] 图 3A 是表示钢板的探伤位置和电磁超声波探头检测出的信号强度 (F 回波、B 回波) 的特性图。

[0032] 图 3B 是表示钢板的探伤位置和电磁超声波探头检测出的信号强度 (F/B 比) 的特性图。

[0033] 图 4 是表示钢板的缺陷地图 (map) 的示意图。

[0034] 图 5 是表示在钢板中产生的超声波在钢板中传播的状况的示意图。

[0035] 图 6 是将设在电磁超声波探头 102 上的线圈 1 ~ 3 从图 5 的 Z 方向观察的平面图。

[0036] 图 7 是表示对不存在内部缺陷的钢板进行探伤的情况下的钢板的边缘附近的 B 回波及 F/B 比的特性图。

[0037] 图 8A 是表示边缘附近以外的 B 回波及 F 回波的特性图。

- [0038] 图 8B 是表示边缘附近的 B 回波及 F 回波的特性图。
- [0039] 图 8C 是表示边缘附近以外的 F/B 比的特性图。
- [0040] 图 8D 是表示边缘附近的 F/B 比的特性图。
- [0041] 图 9A 是用来说明有关第 1 实施方式的修正方法的特性图。
- [0042] 图 9B 是表示边缘附近以外的 F/B 比与通过有关第 1 实施方式的修正方法求出的边缘附近的 F/B 比的特性图。
- [0043] 图 10 是表示内部缺陷的尺寸（横轴）与 F/B 比（纵轴）的关系的特性图。
- [0044] 图 11 是表示有关第 1 实施方式的 B 回波的检测值的修正处理的流程图。
- [0045] 图 12A 是用来说明有关第 2 实施方式的修正方法的特性图。
- [0046] 图 12B 是表示边缘附近以外的 F/B 比和通过有关第 2 实施方式的修正方法求出的边缘附近的 F/B 比的特性图。
- [0047] 图 13 是表示从预先探伤试验的不同尺寸的内部缺陷的检测信号取得的 F/Bmax 与 B 回波的下降量的关系的特性图。
- [0048] 图 14 是将 F 回波的值与 B 回波的下降量的关系标绘出的特性图。
- [0049] 图 15 是表示有关第 2 实施方式的修正方法的流程图。

具体实施方式

[0050] 以下,参照附图对本发明的优选的实施方式详细地说明。另外,在本说明书及附图中,关于实质上具有相同的功能结构的构成要素赋予相同的标号而省略重复说明。

[0051] (第 1 实施方式)

[0052] [电磁超声波装置的结构例]

[0053] 首先,参照图 1 及图 2 对有关本发明的第 1 实施方式的电磁超声波装置(缺陷检查装置)100 的结构进行说明。图 1 是表示电磁超声波装置 100 的结构的示意图。电磁超声波装置 100 由电磁超声波探头 102、放大器 104(在图 1 中未图示)、测量辊 106、前端检测传感器 108、运算装置 110、显示装置 120 及警报装置 130 构成。

[0054] 作为缺陷检查对象物的钢板 200 被载置到通板(日语:通板)台(未图示)上,通过通板台的辊的驱动而被向图 1 的 X 方向输送。电磁超声波探头 102 检测钢板 200 的内部缺陷 202。在钢板 200 的宽度方向(图 1 的 Y 方向)上配置有多个电磁超声波探头 102。如图 1 所示,电磁超声波探头 102 在钢板 200 的输送方向(图 1 的 X 方向)上配置为两列,在输送方向 X 上的前侧(下游侧)的列(前列)和输送方向 X 上的后侧(上游侧)的列(后列)上分别配置有 8 个电磁超声波探头 102。此外,前列及后列的 8 个电磁超声波探头 102 配置为,使钢板 200 的宽度方向 Y 的位置分别不同,后列的电磁超声波探头 102 位于前列中相邻的电磁超声波探头 102 的中间。由此,能够将位于前列的电磁超声波探头 102 之间、前列的电磁超声波探头 102 不能检测到的内部缺陷 202 用后列的电磁超声波探头 102 可靠地检测。另外,图 1 的电磁超声波探头 102X 表示在钢板 200 的宽度方向 Y 上位于最外侧的电磁超声波探头 102,但关于电磁超声波探头 102X 后述。

[0055] 图 2 是表示从图 1 的 Y 方向观察到的电磁超声波装置 100 的结构的示意图。如图 2 所示,电磁超声波探头 102 接近于钢板 200 的上部而配置。从电磁超声波探头 102 的底面朝向钢板 200 供给空气,通过该空气进行调整以使电磁超声波探头 102 的底面与钢板 200

的表面 200a 之间的间距（距离）为 0.5mm 左右。此外，放大器 104 配置在电磁超声波探头 102 的上部，将电磁超声波探头 102 的检测信号放大。另外，在图 1 中省略了放大器 104 的图示。

[0056] 电磁超声波探头 102 使钢板 200 的表面 200a（第 1 面）产生超声波振动，用线圈检测通过由钢板 200 的底面 200b（第 2 面）反射的超声波在静磁场下振动产生的涡电流。由此，检测由底面 200b 反射的超声波的回波水平（B 回波）。此外，在钢板 200 中发生了图 1 所示的内部缺陷 202 的情况下，超声波在内部缺陷 202 中反射，由该内部缺陷 202 反射的超声波被电磁超声波探头 102 检测到。由此，检测出由内部缺陷 202 反射的超声波的回波水平（F 回波）。这样，在钢板 200 中发生了内部缺陷 202 的情况下，与在钢板 200 中没有发生内部缺陷 202 的情况相比，反射的超声波的回波水平变化，所以能够根据 F 回波相对于 B 回波之比（F/B 比）对内部缺陷 202 进行评价（等级分类）。这里，在 F/B 比中，B 意味着 B 回波的值（信号强度），F 意味着 F 回波的值（信号强度）。

[0057] 运算装置 110 具有对各电磁超声波探头 102 供给高频电流（高频信号）的功能。即，运算装置 110 向设在各电磁超声波探头 102 中的 8 个线圈分别供给用来使钢板 200 产生超声波振动的高频电流。

[0058] 此外，该运算装置 110 根据 F 回波相对于 B 回波之比（F/B 比）评价内部缺陷 202。如图 1 所示，运算装置 110 由修正执行部 112、修正值运算部 114、F/B 运算部 116、缺陷评价部 118 及修正值存储部 119 构成。关于运算装置 110 的各构成要素的功能后述。

[0059] 显示装置 120 显示内部缺陷 202 的水平及内部缺陷 202 的位置。此外，警报装置 130 在内部缺陷 202 的水平超过基准水平的情况下发出警报。超过基准水平的内部缺陷 202 被检测出的钢板 200 离开通常的输送路径，进行进一步的内部缺陷 202 的检查。

[0060] 图 3A 是表示钢板 200 的输送方向 X 的探伤位置和通过电磁超声波探头 102 的检测得到的 F 回波及 B 回波的信号强度的特性图。此外，图 3B 是表示 F/B 比的信号强度的特性图。如图 3A 所示，如果在钢板 200 中发生内部缺陷 202，则根据内部缺陷 202 的大小而 F 回波的值上升，B 回波的值下降。因此，如图 3B 所示，发生了内部缺陷 202 的探伤位置，与没有发生内部缺陷 202 的探伤位置相比，F/B 比的值增加。并且，内部缺陷 202 越大，F 回波的值越大，B 回波的值越小，所以 F/B 比的值变大。因而，能够基于 F/B 比的值检测是否发生了内部缺陷 202，进而，能够评价内部缺陷 202 的大小。此外，如果电磁超声波探头 102 的底面与钢板 200 的表面 200a 之间的间距变化，则 B 回波及 F 回波的值变化，但通过计算 F/B 比，能够将由间距的变化带来的 B 回波及 F 回波的变化量消除。进而，基于 F/B 比的值来评价内部缺陷 202，从而即使是在 F 回波及 B 回波中包含有噪声的情况，也能够消除噪声的量，所以能够将内部缺陷 202 高精度地评价。

[0061] 来自在钢板 200 的宽度方向 Y 上配置的多个电磁超声波探头 102 的检测信号与来自计测距钢板 200 的前端的位置的测量辊 106 的位置信号一起被向运算装置 110 传送。前端检测传感器 108 检测钢板 200 的前端位置，其前端位置成为测量辊 106 检测钢板 200 的位置时的基准。运算装置 110 取得 F/B 比的信号与位置信号的同步，制作图 4 所示那样的、表示在钢板 200 中发生的内部缺陷 202 的位置的缺陷地图。

[0062] 1 个电磁超声波探头 102 的钢板宽度方向 Y 上的长度（宽度）是 100mm 左右，不能使相邻的电磁超声波探头 102 之间的距离成为零。因此，为了消除未检测区域，如上述那样

将电磁超声波探头 102 在钢板输送方向 X 上配置为两列,以使钢板 200 的宽度方向 Y 上的电磁超声波探头 102 的位置在两列中相互不同地配置(所谓的交错排列)。另外,电磁超声波探头 102 的前列与后列的间隔为 0.5 ~ 1.5m。

[0063] 运算装置 110 通过使来自这样配置的多个电磁超声波探头 102 的检测信号与在通板台上移动的钢板 200 的位置同步,从而识别正确的缺陷位置,制作图 4 所示那样的缺陷地图。缺陷地图被显示在显示装置 120 上。由此,能够瞬间地掌握钢板 200 的发生了内部缺陷 202 的位置和该内部缺陷 202 的长度。

[0064] [相邻的线圈给检测值带来的影响]

[0065] 图 5 是表示通过电磁超声波探头 102 在钢板 200 的表面 200a 发生的超声波振动在钢板 200 的内部中传播的状况的示意图。在本实施方式中,各电磁超声波探头 102 具备相邻配置的 8 个线圈,但在图 5 中为了说明而表示了 3 个线圈。如图 5 所示,在 1 个电磁超声波探头 102 中,排列有产生超声波的多个线圈 1 ~ 3。线圈 1 ~ 3 一边相互取得同步,一边使钢板 200 的表面 200a 产生超声波振动,进行由钢板 200 的底面 200b 及内部缺陷 202 反射的超声波的接收。

[0066] 图 6 是将 3 个线圈 1 ~ 3 从图 5 的 Z 方向观察的平面图。在图 5 中,为了图示的方便,以 3 个线圈 1 ~ 3 以一定间隔不重合配置的方式进行了图示,但实际上如图 6 所示,3 个线圈 1 ~ 3 相互相邻而以一部分重合的方式配置。此外,包括 3 个线圈 1 ~ 3 的 8 个线圈(线圈 1 ~ 8)在未图示的印刷基板(Flexible Printed Circuits)上配置为一列。

[0067] 此外,各线圈的宽度例如是 10mm。另外,各电磁超声波探头 102 具备的线圈的数量及宽度没有被特别限定,只要根据探伤效率等适当设定就可以。

[0068] 如图 5 所示,在电磁超声波探头 102 中,对应于线圈 1 ~ 3 设有永久磁铁 102a。另外,在图 5 中仅表示与线圈 2 对应的永久磁铁 102a。如果对线圈 2 进行说明,则通过在线圈 2 中流过高频电流,在钢板 200 的表面 200a 上发生以高频变动的磁场 M1。并且,在钢板 200 的表面 200a 上,在将该磁场 M1 抵消的方向上产生感应电流 I1。并且,通过在由永久磁铁 102a 形成的静磁场 M2 内的导体(钢板 200)中流过感应电流 I1,产生洛伦兹力 F。该洛伦兹力 F 与在线圈 2 中流过的高频电流同步变动,所以通过洛伦兹力 F,钢板 200 的表面 200a 振动,产生超声波 300。

[0069] 如图 5 所示,在钢板 200 的表面 200a 产生的超声波 300 在钢板 200 的底面 200b 上反射。由底面 200b 反射的超声波 301 的回波水平(B 回波)被线圈 2 接收。线圈 2 产生的超声波 300 在内部缺陷 202 中也反射。由内部缺陷 202 反射的超声波 302 的回波水平(F 回波)也被线圈 2 检测到。线圈 2 通过检测通过由底面 200b 反射的超声波 301 及由内部缺陷 202 反射的超声波 302 在永久磁铁 102a 的静磁场下振动而产生的涡电流,检测 B 回波及 F 回波。

[0070] 关于其他线圈也同样,使钢板 200 的表面 200a 产生超声波振动而检测 B 回波及 F 回波。

[0071] [钢板的边缘附近的检测值的特性]

[0072] 如上述那样,通过轧制及冷却的影响,钢板 200 的宽度方向 Y 上的端部(边缘附近)的结晶组织具有与钢板 200 的中央部的结晶组织不同的性质。图 7 是表示对不存在内部缺陷 202 的即无缺陷的钢板 200 进行探伤的情况下的 B 回波或 F/B 比与距钢板的边缘的

距离的关系的特性图。这里,说明用图 1 中在钢板 200 的宽度方向 Y 上位于最外侧的电磁超声波探头 102X 探伤的情况。在图 7 中,横轴是线圈 1 ~ 13 的距边缘的距离 x ,纵轴是由线圈 1 ~ 13 检测出的 B 回波水平及 F/B 比的值 (dB)。此外,在图 7 中,线圈 1 ~ 8 是电磁超声波探头 102X 所具有的线圈,线圈 9 ~ 13 是与电磁超声波探头 102X 相邻的电磁超声波探头 102 所具有的线圈。另外,图 7 表示在钢板 200 中不存在内部缺陷 202 的情况,所以图 7 的 F/B 比为噪声与 B 回波之比。

[0073] 如上述那样,各电磁超声波探头 102 具备 8 个线圈 1 ~ 8。如图 7 所示,电磁超声波探头 102X 的线圈 1 位于边缘 ($x = 0$),线圈 2 ~ 13 从钢板 200 的边缘向宽度方向的中心侧 (内侧) 离开而取位。另外,线圈 7 和线圈 9 以相互重叠的方式配置,线圈 8 和线圈 10 也以相互重叠的方式配置。

[0074] 如图 7 所示,在边缘附近的线圈中,B 回波的检测值比边缘附近以外的线圈的检测值下降 (衰减)。特别是,边缘附近的线圈 1 及线圈 2 的检测值比线圈 3 ~ 8 的检测值衰减。通过边缘附近的 B 回波值衰减,从而边缘附近的 F/B 比的值比边缘附近以外的 F/B 比的值上升。因此,如果基于 F/B 比的值来评价内部缺陷 202,则有尽管是无缺陷也被判断为存在内部缺陷 202、钢板 200 被判断不合格的情况。另外,也将边缘附近 (端部) 以外的区域称作通常评价区域。

[0075] 以下,基于图 8A ~ 图 8D 具体地说明。这里,图 8A 及图 8B 是表示 B 回波及 F 回波的检测值的特性图。图 8A 表示钢板 200 的电磁超声波探头 102X 中的边缘附近以外的线圈 (与图 7 的线圈 3 ~ 8 对应) 的特性,图 8B 表示边缘附近的线圈 (与图 7 的线圈 1、2 对应) 的特性。此外,图 8C 及图 8D 表示根据图 8A 及图 8B 的 B 回波及 F 回波的检测值计算出的 F/B 比的值,图 8C 表示边缘附近以外的 F/B 比的值,图 8D 表示边缘附近的 F/B 比的值。

[0076] 在 JISG0801 中,将超声波探伤中的内部缺陷 202 的评价设定为,根据检测水平划分为○、△、× 这 3 个级别。基于此,在图 8A 及图 8B 中,作为内部缺陷 202 的水平,以缺陷较小的顺序表示轻缺陷 (水平○)、中缺陷 (水平△)、重缺陷 (水平×、水平××)。关于重缺陷,与水平×相比,水平××是更重度 (大) 的缺陷。另外,为了将水平××与水平×区别,以下将水平××称作超重缺陷。

[0077] 如图 8A 所示,在电磁超声波探头 102X 的内侧 (边缘附近以外) 的线圈 3 ~ 8 中,如果检测内部缺陷 202,则根据内部缺陷 202 的尺寸而 F 回波上升,B 回波下降。由此,如图 8C 的特性所示,根据内部缺陷 202 的尺寸而 F/B 比的值变化。在 F/B 比的值为阈值 T1 以上、不到阈值 T2 的情况下判断为轻缺陷 (水平○)。此外,在 F/B 比的值为阈值 T2 以上、不到阈值 T3 的情况下判断为中缺陷 (水平△),在 F/B 比的值为阈值 T3 以上的情况下判断为重缺陷 (水平×) 或超重缺陷 (水平××)。这样,在电磁超声波探头 102X 的内侧的线圈 3 ~ 8 中,不发生图 7 中说明那样的 B 回波的衰减,所以能够基于 F/B 比的值判断内部缺陷 202 的水平。

[0078] 另一方面,如图 7 及图 8B 所示,在边缘附近的线圈 1、2 中,B 回波的值衰减。此外,图 8B 表示在钢板 200 的边缘附近处 B 回波的衰减量是 D 的情况。因此,如图 8D 所示,边缘附近的 F/B 比的值与边缘附近以外的 F/B 比的值相比整体上增加。因而,本来无缺陷的钢板 200 被识别为具有中缺陷 (水平△) 以上的内部缺陷,进行了误判断。

[0079] 在本第 1 实施方式中,为了抑制这样的误判断,在电磁超声波探头 102X 中,不采用

位于钢板 200 的边缘附近的线圈 1、2 的 B 回波的检测值,而使用基于电磁超声波探头 102X 的边缘附近以外的线圈 3~8 的 B 回波的值,将边缘附近的(线圈 1、2 的)B 回波修正。另一方面,关于 F 回波,原样使用边缘附近的线圈 1、2 的检测值,通过边缘附近的线圈 1、2 检测出的 F 回波和修正后的 B 回波来计算 F/B 比。采用电磁超声波探头 102X 中的边缘附近以外的线圈 3~8 的 B 回波的理由是因为,如果是相同的电磁超声波探头,则间距量及钢板温度也大致相同,所以起因于它们的 B 回波水平的变化相同。

[0080] [本第 1 实施方式的具体的结构例]

[0081] 如图 3A 所示,根据内部缺陷 202 的尺寸,F 回波上升,B 回波下降。另一方面,如果不存在内部缺陷 202,则不发生由内部缺陷 202 带来的 B 回波的下降。因此,在边缘附近的线圈正下方发生内部缺陷 202、在边缘附近以外的线圈正下方不发生内部缺陷 202 的情况下,如果仅将边缘附近的线圈 1、2 的 B 回波替换为边缘附近以外的线圈 3~8 的 B 回波,则可以想到边缘附近的线圈 1、2 的 F/B 比的值变得过小、不能检测内部缺陷 202 的状况。

[0082] 因此,在本第 1 实施方式中,对通过事前试验加工人工缺陷而设置的试验片(人工缺陷板)进行探伤来预先求出人工缺陷的尺寸和 B 回波的下降量 B'。由此,能够得到与内部缺陷 202 的尺寸对应的 B 回波的下降量 B'。并且,将边缘附近的线圈 1、2 的 B 回波通过下述的式(1)修正。

$$[0083] \quad B_a = B_{\max} - B' \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

[0084] 这里,在式(1)中,

[0085] B_a :电磁超声波探头 102X 的线圈 1、2 中的修正后的 B 回波值,

[0086] B_{\max} :由电磁超声波探头 102X 的线圈 3~8 检测出的 B 回波水平的最大值,

[0087] B' :预先求出的 B 回波的下降量(以下,也称作设定修正值)。

[0088] 另外, B_{\max} 相当于在钢板 200 的端部(边缘)附近以外且不存在缺陷的位置处电磁超声波探头 102 的线圈检测的正常的 B 回波水平,称作基准值。

[0089] B 回波的下降量 B'(设定修正值 B')相当于由边缘附近以外且不存在内部缺陷的位置的线圈检测出的 B 回波的值、与由在边缘附近以外且存在内部缺陷的位置的线圈检测出的 B 回波的值之差。因而,在通过人工缺陷板求出 B 回波的下降量 B'的情况下,例如只要对跨越线圈 3~8 地设置了人工缺陷的人工缺陷板进行探伤、根据检测出人工缺陷的情况下的 B 回波的值与检测出无缺陷的区域的情况下的 B 回波的值之差求出 B 回波的下降量 B'就可以。在此情况下,既可以将由线圈 3~8 得到的差分的某个作为 B 回波的下降量 B',也可以将线圈 3~8 检测的差分的最大值、平均值或中值(日语:中央数)作为 B 回波的下降量 B'。

[0090] 如上述那样,在 JISG0801 中设定为,将超声波探伤中的内部缺陷 202 根据检测水平区分为○、△、× 这 3 个级别来评价。在进行修正的情况下,使得内部缺陷 202 的判断不变得过小。因此,作为(1)式的设定修正值 B',优选的是一律采用在钢板上加工设置重缺陷(水平×)的尺寸的人工缺陷、对该钢板探伤而得到的 B 回波的下降量 B'。

[0091] 图 9A 及图 9B 是用来说明有关本第 1 实施方式的修正方法的特性图。这里,图 9A 的左侧表示钢板 200 的电磁超声波探头 102X 中的边缘附近以外的线圈(对应于图 7 的线圈 3~8)的特性。此外,图 9A 的右侧表示边缘附近的线圈(对应于图 7 的线圈 1、2)中的、通过上述(1)式修正后的 B 回波值 B_a (实线)和修正前的 B 回波值(点线)。此外,图 9B

的左侧表示根据图 9A 的左侧所示的 B 回波及 F 回波的检测值计算出的边缘附近以外的 F/B 比的值,图 9B 的右侧表示根据图 9A 的右侧所示的 B 回波及 F 回波的检测值计算出的边缘附近的 $F/(B_{\max} - B')$ 的值。

[0092] 如图 9A 的右侧的特性所示,在边缘附近的线圈 1、2 中,不使用检测出的 B 回波的值,而采用由上述 (1) 式计算出的 B 回波的值 B_a 。B 回波的设定修正值 B' 为对边缘附近以外的区域进行探伤时检测出重缺陷 (水平 \times) 的情况下的 B 回波的下陷量。由此,如图 9B 的右侧那样, $F/(B_{\max} - B')$ 的值即 F/B_a 的值与图 8D 的 F/B 比的值相比在整体上下降,所以能够抑制基于 F/B 比的值而进行误判断。

[0093] 在存在重缺陷 (水平 \times) 的情况下,如图 8A 及图 9A 的左侧的特性所示,边缘附近以外的 B 回波与无缺陷的情况相比下降 B' 。因此,基于 (1) 式,将从在没有缺陷的情况下检测到的边缘附近以外的 B 回波减去 B' 后的值,作为边缘附近的 B 回波的值 B_a 。此时,内部缺陷 202 的钢板宽度方向 Y 的长度通常比在电磁超声波探头 102X 中排列的 8 个线圈的合计长度 (80mm) 短,所以可以将 8 个线圈的 B 回波检测值的最大值 B_{\max} 考虑为无缺陷部分的 B 回波。因而,通过基于 (1) 式计算 $B_{\max} - B'$,能够计算与发生了重缺陷 (水平 \times) 的部位对应的 B 回波的值 B_a 。由此,在边缘附近也通过基于阈值 T3 评价 F/B 比的值,能够与边缘附近以外同样地检测重缺陷 (水平 \times)。

[0094] 在钢板 200 的探伤中,在检测出重缺陷 (水平 \times) 的發生的情况下,将钢板 200 转移到离线 (offline) 工序而更详细地检查内部缺陷 202。因而,重缺陷 (水平 \times) 的有无是关于钢板 200 的合格与否的,不将重缺陷 (水平 \times) 过小评价而可靠地判断是重要的。如上述那样,通过在边缘附近将 B 回波的值修正为 $B_a (= B_{\max} - B')$,在边缘附近也能够与边缘附近以外同样,可靠地判断重缺陷 (水平 \times) 的有无。因而,在包括边缘附近的钢板 200 的整个区域中,能够不过小评价作为判断钢板 200 的合格与否的基准的重缺陷 (水平 \times) 而可靠地检测。

[0095] 此外,在存在超重缺陷 (水平 $\times\times$) 的情况下,由于与无缺陷对应的 B 回波的下陷量比 B' 大,所以如果将 B 回波修正为 $B_a (= B_{\max} - B')$,则使用该 B_a 的边缘附近的 F/B 比的值比相当于超重缺陷 (水平 $\times\times$) 的值下降。但是,在此情况下,也由于边缘附近的 F/B 比的值比重缺陷 (水平 \times) 的判断的阈值 T3 大,所以至少被判断为重缺陷 (水平 \times) 以上的缺陷。因而,在边缘附近存在超重缺陷 (水平 $\times\times$) 的情况下,尽管缺陷的水平作为重缺陷 (水平 \times) 而被稍稍过小评价,但由于被判断为存在作为合格与否的基准的重缺陷 (水平 \times) 以上的缺陷,所以不会发生给钢板 200 的合格与否带来影响那样的误判断,不发生实质性的问题。

[0096] 此外,如图 9B 的右侧的特性所示,在边缘附近存在轻缺陷 (水平 \circ) 的情况下,通过将边缘附近的 B 回波修正为 $B_a (= B_{\max} - B')$,使用了该 B_a 的 F/B 比的值增加。因而,虽然将轻缺陷 (水平 \circ) 稍稍过大地评价,但能够可靠地抑制轻缺陷 (\circ) 成为未检测的情况。

[0097] 同样,在边缘附近存在中缺陷 (水平 \triangle) 的情况下,也通过将边缘附近的 B 回波修正为 $B_a (= B_{\max} - B')$,使用了该 B_a 的 F/B 比的值增加,成为将中缺陷 (水平 \triangle) 稍稍过大地评价的情况。但是,能够可靠地抑制中缺陷 (\triangle) 成为未检测的情况。

[0098] 图 10 是表示内部缺陷 202 的尺寸 (横轴) 与 F/B 比的值 (纵轴) 的关系的特性

图。图 10 的虚线表示边缘附近以外的判断基准的特性,表示在计算 F/B 比时不将 B 回波修正的情况。在此情况下,在 F/B 比为阈值 T1 以上、不到阈值 T2 的情况下判断为轻缺陷(水平○)。此外,在 F/B 比为阈值 T2 以上、不到阈值 T3 的情况下判断为中缺陷(水平△)。此外,在 F/B 比的值为阈值 T3 以上、不到阈值 T4 的情况下判断为重缺陷(水平×)。

[0099] 此外,图 10 的实线表示边缘附近的判断基准的特性,表示在计算 F/B 比时通过(1)式将 B 回波修正为 $B_a (= B_{\max} - B')$ 的情况。在此情况下,轻缺陷(水平○)的 F/B 比为 T1' 以上、不到 T2'。此外,中缺陷(水平△)的 F/B 比为 T2' 以上、不到 T3。

[0100] 在边缘附近中,将 B 回波通过(1)式修正。此时的 B 回波的下降量 B' 与在边缘附近以外存在重缺陷(水平×)的情况下的 B 回波的下降量是同样的。因而,在边缘附近,也是作为重缺陷(水平×)的判断基准的 F/B 比的值与阈值 T3 一致,是否存在重缺陷(水平×)的判断通过与图 10 的虚线的特性相同的基准(阈值 T3)进行。由此,与边缘附近以外同样,在边缘附近,也能够基于阈值 T3 正确地判断是否存在重缺陷(水平×)。

[0101] 在边缘附近存在比重缺陷(水平×)大的超重缺陷(水平××)的情况下,虽然在边缘附近以外 B 回波的下降量比设定修正值 B' 大,但通过(1)式将 B 回波的下降量作为 B' 而计算 B_a ,进而使用该 B_a 计算 F/B 比。因而,该 F/B 比变得比图 10 的虚线的特性小。

[0102] 因而,在边缘附近,像根据图 10 的实线可知的那样,关于轻缺陷(水平○)、中缺陷(水平△)做出过大评价,关于超过重缺陷(水平×)的缺陷做出过小评价,是否超过重缺陷(水平×)的判断与图 10 的虚线同样通过阈值 T3 进行。因而,能够正确地判断是否超过重缺陷(水平×)。

[0103] 如以上那样,在基于将 B 回波修正后的 F/B_a 即 $F/(B_{\max} - B')$ 的评价中,能够抑制将无缺陷部判断为缺陷(阈值 T1 以上)的情况。此外,关于重缺陷(水平×),修正后的 F/B 比相比修正前的 F/B 比下降,但由于在分类上被判断为水平×,所以在实际的应用上不发生问题。因而,能够在钢板 200 的宽度方向 Y 的整个区域中将所有的尺寸的缺陷不过小评价而判断出。

[0104] 在上述例子中,在(1)式中设为,从由电磁超声波探头 102X 所具备的 8 个线圈检测出的 B 回波中的最大的值 B_{\max} 减去设定修正值 B'。但是,只要是相当于无缺陷的情况下的 B 回波的值,也可以使用 B_{\max} 以外的值。例如,也可以将 8 个线圈中的距边缘较近的 1 或多个线圈的 B 回波检测值除外,采用其余的 B 回波检测值的最大值、平均值或中值来代替 B_{\max} 。在此情况下,例如可以采用由线圈 4~8 检测出的 B 回波的最大值、平均值或中值来代替 B_{\max} 。

[0105] 此外,例如也可以设定相当于边缘附近以外(通常评价区域)且存在内部缺陷(例如轻缺陷水平(水平○)的内部缺陷)的情况下的 B 回波的检测值的规定值,将 8 个线圈的 B 回波检测值中的比该规定值小的 B 回波检测值除外,采用其余的 B 回波检测值的最大值、平均值或中值来代替 B_{\max} 。换言之,可以采用 8 个线圈的 B 回波检测值中的比该规定值大的 B 回波检测值的最大值、平均值或中值来代替 B_{\max} 。

[0106] 此外,例如也可以设定相当于边缘附近以外(通常评价区域)且不存在内部缺陷的情况下的 B 回波的检测值的规定值,采用 8 个线圈的 B 回波检测值中的比该规定值大的 B 回波检测值的最大值、平均值或中值来代替 B_{\max} 。换言之,可以将 8 个线圈的 B 回波检测值中的比该规定值小的 B 回波检测值除外,采用其余的 B 回波检测值的最大值、平均值或中

值来代替 B_{\max} 。

[0107] 这样,可以代替 (1) 式的 B_{\max} 而使用与由边缘附近以外 (通常评价区域) 且不存在内部缺陷的位置的线圈检测出的 B 回波对应的值。

[0108] 如上述那样,运算装置 110 具备修正执行部 112、修正值运算部 114、F/B 运算部 116、缺陷评价部 118、修正值存储部 119 (参照图 1)。修正执行部 112 基于 (1) 式将边缘附近的 B 回波值修正。修正值运算部 114 运算设定修正值 B' 。另外,在本第 1 实施方式中,设定修正值 B' 是预先设定的固定值。此外,虽然后述,但在第 2 实施方式中,修正值运算部 114 基于 F/B_{\max} 的值计算设定修正值 B' 。F/B 运算部 116 使用 F 回波和 B 回波计算 F/B 比。F/B 运算部 116 在计算边缘附近以外的位置处的 F/B 比的情况下,根据 F 回波和没有被修正的 B 回波计算 F/B 比。另一方面,F/B 运算部 116 在计算边缘附近的位置处的 F/B 比的情况下,根据 F 回波和修正后的 B 回波 (B_a) 计算 F/B 比。缺陷评价部 118 基于 F/B 运算部 116 所计算出的 F/B 比来评价内部缺陷 202。修正值存储部 119 存储设定修正值 B' 。

[0109] 另外,图 1 所示的运算装置 110 由电路 (硬件) 或 CPU (Central Processing Unit) 等的中央运算处理装置和用来使其发挥功能的程序 (软件) 构成。

[0110] [有关本第 1 实施方式的 B 回波检测值的修正处理]

[0111] 图 11 是表示有关本第 1 实施方式的 B 回波的检测值的修正处理的流程图。首先,在步骤 S10 中,取得预先求出的设定修正值 B' ,向修正值存储部 119 存储。在接着的步骤 S11 中,由电磁超声波探头 102X 所具备的 8 个线圈检测 F 回波、B 回波。在接着的步骤 S12 中,修正执行部 112 求出 8 个线圈的 B 回波的最大值 B_{\max} 。在接着的步骤 S13 中,修正执行部 112 不使用边缘附近的线圈 1、2 的 B 回波检测值,而进行将根据 (1) 式计算出的 B_a 作为线圈 1、2 的 B 回波值的修正。在接着的步骤 S14 中,F/B 运算部 116 根据由 8 个线圈分别检测出的 F 回波及 B 回波计算 F/B 比。此时,在根据边缘附近 (端部) 的线圈 1、2 的检测值计算 F/B 比的情况下,使用在步骤 S13 中进行了修正的 B 回波值 B_a 。在接着的步骤 S15 中,缺陷评价部 118 基于在步骤 S14 中计算出的 F/B 比,评价内部缺陷 202 的尺寸。在步骤 S15 后结束处理。

[0112] 如以上说明,在本第 1 实施方式中,不使用边缘附近 (端部) 的线圈所检测出的 B 回波的值,而进行将从边缘附近以外的 B 回波 (B_{\max}) 减去 B' 后的值 $B_a (= B_{\max} - B')$ 作为边缘附近的 B 回波的值修正,评价 F/B 比。由此,不会受到在边缘附近 B 回波衰减的影响,进而能够在边缘附近不过小评价内部缺陷 202 而判断。

[0113] 此外,在本第 1 实施方式中,电磁超声波探头 102X 的线圈 1 处于钢板 200 的边缘正下方 (即,距边缘的距离 $x = 0$),但线圈 1 也可以配置在钢板 200 的内侧 (即, $x > 0$)。例如,线圈 1 也可以配置在距边缘为 20 ~ 40mm 左右的内侧。在此情况下,能够避免线圈 1 位于比边缘靠外侧,能够防止线圈 1 的损坏。另外,如果线圈 1 位于比边缘靠内侧,则虽然成为在钢板 200 内存在未检查的区域的情况,但只要在检查后将该未检测区域从钢板 200 切断就可以。

[0114] (第 2 实施方式)

[0115] 接着,对本发明的第 2 实施方式进行说明。在本第 2 实施方式中,将在第 1 实施方式中说明的 (1) 式的设定修正值 B' 根据内部缺陷 202 的尺寸而变更。

[0116] 图 12A 及图 12B 是用来说明有关本第 2 实施方式的修正方法的特性图。这里,图

12A 及图 12B 的左侧的特性（边缘附近以外的线圈的检测值）与图 9A 及图 9B 的左侧的特性是同样的。图 12A 的右侧的特性表示边缘附近的线圈的 B 回波的检测值（点线）及通过以下说明的方法将 B 回波修正后的情况。图 12B 的右侧的特性如图 12A 的右侧所示，表示使用从 B_{\max} 减去 B' 后的值 B_a 而计算出的 F/B 比的值。

[0117] 在本第 2 实施方式中，也代替由边缘附近的线圈 1、2 检测出的 B 回波，而在 F/B 比的计算中使用由 (1) 式计算出的 B_a 。此时，在本第 2 实施方式中，如图 12A 的右侧所示，使设定修正值 B' 根据内部缺陷 202 的尺寸而变化。在图 12A 中，如轻缺陷（水平○）、中缺陷（水平△）、重缺陷（水平×）、超重缺陷（水平××）那样，根据内部缺陷 202 的水平使设定修正值 B' 线性地变化。

[0118] 在本第 2 实施方式中，作为根据内部缺陷 202 的尺寸使设定修正值 B' 变化的指标而使用 F/B_{\max} 的值。 B_{\max} 与第 1 实施方式同样，设为由电磁超声波探头 102X 的各线圈检测出的 B 回波中的最大值。并且，使用以下的方法，根据 F/B_{\max} 的值决定设定修正值 B' 。

[0119] 在设定修正值 B' 的计算时，使用预先加工设置了人工的内部缺陷 202 的测试板来进行探伤试验，测量与内部缺陷 202 的尺寸对应的 F 回波及 B 回波。并且，通过上述测量，根据不同的尺寸的内部缺陷 202 的检测信号，取得 F/B_{\max} 与 B 回波的下降量（设定修正值 B' ）的关系。如图 13 所示，可知在 F/B_{\max} 与 B 回波的下降量之间如特性 C 所示那样有线性相关。因而，设定修正值 B' 可以使用系数 a 及 b 用以下的 (2) 式表示。

$$[0120] \quad B' = a \times (F/B_{\max}) + b \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

[0121] 这里，以下说明不使用 F 回波、 F/B 比等的其他参数而基于 F/B_{\max} 推测 B 回波下降量的理由。图 14 是表示 F 回波与 B 回波的下降量（设定修正值 B' ）的关系的图。如图 14 所示，在 F 回波与 B 回波的下降量之间看不到相关，不能根据 F 回波的值来确定 B 回波的下降量。这是因为，根据电磁超声波探头 102 与钢板 200 的间距的变化、钢板 200 的温度变化等的因素，F 回波会变动。

[0122] 此外，B 回波的值如在图 5 中说明那样，衰减较大而不稳定，所以即使计算 F/B 比，也不能得到与内部缺陷 202 的尺寸的相关。

[0123] 另一方面，由电磁超声波探头 102X 与钢板 200 的间距的变化或钢板 200 的温度变化带来的 F 回波及 B_{\max} 的变动在电磁超声波探头 102X 内变得同等。因此，能够根据 F/B_{\max} 求出设定修正值 B' 。

[0124] 此外，在求出 F/B_{\max} 与 B 回波的下降量的关系式的情况下，例如只要对以跨越线圈 3～8 的方式设有缺陷的人工缺陷板进行探伤、根据检测出人工缺陷的情况下的 B 回波的值与检测出无缺陷的区域的情况下的 B 回波的值之差求出 B 回波的下降量 B' 、并求出线圈 3～8 检测的 F 回波的值就可以。在此情况下，既可以将通过线圈 3～8 得到的差分的某个作为 B 回波的下降量 B' ，也可以将由线圈 3～8 得到的差分的最大值、平均值或中值作为 B 回波的下降量 B' 。此外，既可以使用线圈 3～8 检测的 F 回波的值中的某个，也可以使用线圈 3～8 检测的 F 回波的最大值、平均值或中值。

[0125] 因而，对设有缺陷的板等的作为基准的试验片通过事前试验进行探伤，根据图 13 所示那样的 F/B_{\max} 与 B 回波的下降量（设定修正值 B' ）的关系，计算设定修正值 B' 。

[0126] 通过 (2) 式根据 F/B_{\max} 计算 B' ，通过 (1) 式将边缘附近的 B 回波修正。于是，边缘附近的 F/B 比的值如图 12B 的右侧的特性所示，与边缘附近以外的 F/B 比的值变为相同。

因而,在本第 2 实施方式中,在边缘附近,能够与边缘附近以外同样地判断内部缺陷 202 的水平。

[0127] [有关本第 2 实施方式的 B 回波检测值的修正处理]

[0128] 图 15 是表示有关本第 2 实施方式的 B 回波的检测值的修正处理的流程图。在本第 2 实施方式中,首先在步骤 S20 中,取得预先求出的 F/B_{max} 与 B' 的关系式,向修正值存储部 119 存储。在接着的步骤 S21 中,由电磁超声波探头 102X 所具备的 8 个线圈检测 F 回波及 B 回波。在接着的步骤 S22 中,修正值运算部 114 求出 8 个线圈的 B 回波的最大值 B_{max} 。在接着的步骤 S23 中,修正值运算部 114 基于 F/B_{max} 的值,计算设定修正值 B' 。具体而言,修正值运算部 114 基于预先取得的图 13 的特性 C 来计算设定修正值 B' 。在接着的步骤 S24 中,修正执行部 112 使用在步骤 S23 中计算出的设定修正值 B' ,根据 (1) 式将 B 回波的值修正。以后的处理与第 1 实施方式是同样的。

[0129] 如以上说明,在本第 2 实施方式中,在边缘附近的探伤中,使用从边缘附近以外的 B 回波减去 B' 后的值 ($B_{max} - B'$) 来评价 F/B 比。并且,根据内部缺陷 202 的尺寸,使设定修正值 B' 线性地变化。因而,能够使用 F/B 比,与边缘附近以外的内部缺陷 202 的评价同样地进行边缘附近的内部缺陷 202 的评价。由此,不会受到在边缘附近 B 回波衰减的影响,此外,能够进行偏离比第 1 实施方式小的修正。因此,在边缘附近能够高精度地检测内部缺陷 202。

[0130] [实施例]

[0131] 接着,参照图 1 对为了确认本发明的作用效果而进行的实施例进行说明。

[0132] 使用图 1 所示的电磁超声波装置 100 进行钢板 200 的探伤试验。各列的电磁超声波探头 102 是 8 个,在 1 个电磁超声波探头 102 中配置 8 个线圈 1~8。1 个电磁超声波探头 102 的宽度是 100mm,1 个线圈的宽度是 10mm。此外,将电磁超声波探头 102 的底面与钢板 200 的表面 200a 的间距(距离)设定为 0.5mm。

[0133] 在该电磁超声波装置 100 中使宽度 100mm、厚度 35mm 且不存在内部缺陷的钢板 200(即,无缺陷的钢板 200)进行通板,基于由电磁超声波探头 102X 的线圈 1、2 检测出的 F 回波及 B 回波进行探伤试验。当使钢板进行通板时,钢板的边缘穿过线圈 1 的正下方。另外,在该探伤试验中准备 20 个上述钢板,对于这些钢板确认了是否进行了误判断。

[0134] 将该结果表示在表 1 中。

[0135] [表 1]

[0136]

	线圈 1、2 的修正	误判断率 (%)
实施例 1	有(第 1 实施方式)	20
实施例 2	有(第 2 实施方式)	15
比较例 1	无	80

[0137] 表 1 的“误判断率”表示探伤试验的结果判断为由 JISG0801 规定的中缺陷(水平 Δ)或重缺陷(水平 \times)的钢板的比例。换言之,在表 1 表示的探伤试验中示出,被判断为存在中缺陷(水平 Δ)以上的内部缺陷的钢板相对于由于使用了不存在内部缺陷的钢板所

以应判断为是无缺陷的钢板的比例。

[0138] 首先,表 1 的比较例 1 表示对于线圈 1、2 检测出的 B 回波没有进行修正的情况下的结果。在比较例 1 中,如上述那样,通过 B 回波的衰减,较多发生被判断为中缺陷(水平 Δ)或重缺陷(水平 \times)的钢板,误判断率是 80%。

[0139] 相对于此,表 1 的实施例 1 表示通过有关第 1 实施方式的修正方法将线圈 1、2 的 B 回波进行了修正的情况下的结果。在实施例 1 中,作为线圈 1、2 的 B 回波,使用了从由线圈 3~8 检测出的 B 回波的最大值 B_{\max} 减去检测到重缺陷(水平 \times)的情况下的 B 回波的下降量 B' 后的值。在实施例 1 中,误判断率是 20%,可知相对于比较例 1 能够大幅降低误判断率。

[0140] 此外,表 1 的实施例 2 表示通过有关第 2 实施方式的修正方法将线圈 1、2 的 B 回波进行了修正的情况下的结果。在实施例 2 中,根据 F/B_{\max} 与 B 回波的下降量 B' 的关系式计算 B' ,作为线圈 1、2 的 B 回波,使用了从由线圈 3~8 检测出的 B 回波的最大值 B_{\max} 减去该 B' 后的值。在实施例 2 中,误判断率是 15%,可知相对于实施例 1 能够进一步降低误判断率。

[0141] 以上,参照附图对本发明的优选的实施方式详细地进行了说明,但本发明并不限定于这样的例子。显然只要是具有本发明所属的技术领域中的通常的知识的人,就能够在权利要求书所记载的技术思想的范畴内想到各种变更例或修正例,应了解的是,关于它们当然属于本发明的技术范围。

[0142] 例如,在第 1 实施方式及第 2 实施方式中,表示了将电磁超声波探头 102 以两列配置、在各列中配置 8 个电磁超声波探头 102 的情况。但是,本发明并不限定于上述,只要匹配于检查对象物的尺寸来设定各列中配置的电磁超声波探头 102 的数量就可以。进而,电磁超声波探头 102 的列数也可以是 3 列以上。

[0143] 此外,例如以根据缺陷的 F 回波值及 B 回波值等分类为重缺陷(水平 \times)、中缺陷(水平 Δ)、轻缺陷(水平 \circ)这 3 种并进行评价的 JISG0801 的情况为例说明了本发明,但有许多种类的超声波探伤规格。

[0144] 有如 ASTM(American Society for Testing and Materials)A435 那样将缺陷仅分类为 1 种的规格、有如 ASTM A578Level A 那样实质上将缺陷分类为两种而进行评价的规格。在官方的规格中,将缺陷分类为 4 种以上者较少,但是也有通过钢材订购者的指定而分类为 4 种以上进行评价的情况。

[0145] 在这样的情况下也能够应用本发明。例如,在将缺陷仅分类为 1 种的情况下,只要仅以重缺陷水平(水平 \times)进行评价就可以。在将缺陷分类为两种的情况下,只要以重缺陷(水平 \times)和中缺陷(水平 Δ)分类来评价就可以。

[0146] 另外,当前在许多超声波探伤规格中,不是基于 F/B 比的缺陷评价、而通过 F 回波的高度或 B 回波的高度来进行缺陷评价的情况较多。在这样的情况下,需要使用人工缺陷等来预先调查与缺陷的检测灵敏度对应的 F/B 比的值并求出与上述规格对应的 F/B 比的值的基准值。

[0147] 产业上的可利用性

[0148] 能够提供一种在电磁超声波探伤中能够在检查对象物的边缘附近也高精度地检测反射波的新的且改良的缺陷检查方法及缺陷检查装置。

- [0149] 标号说明
- [0150] 110 运算装置
- [0151] 112 修正执行部
- [0152] 114 修正值运算部
- [0153] 116 F/B 运算部
- [0154] 118 缺陷评价部
- [0155] 119 修正值存储部

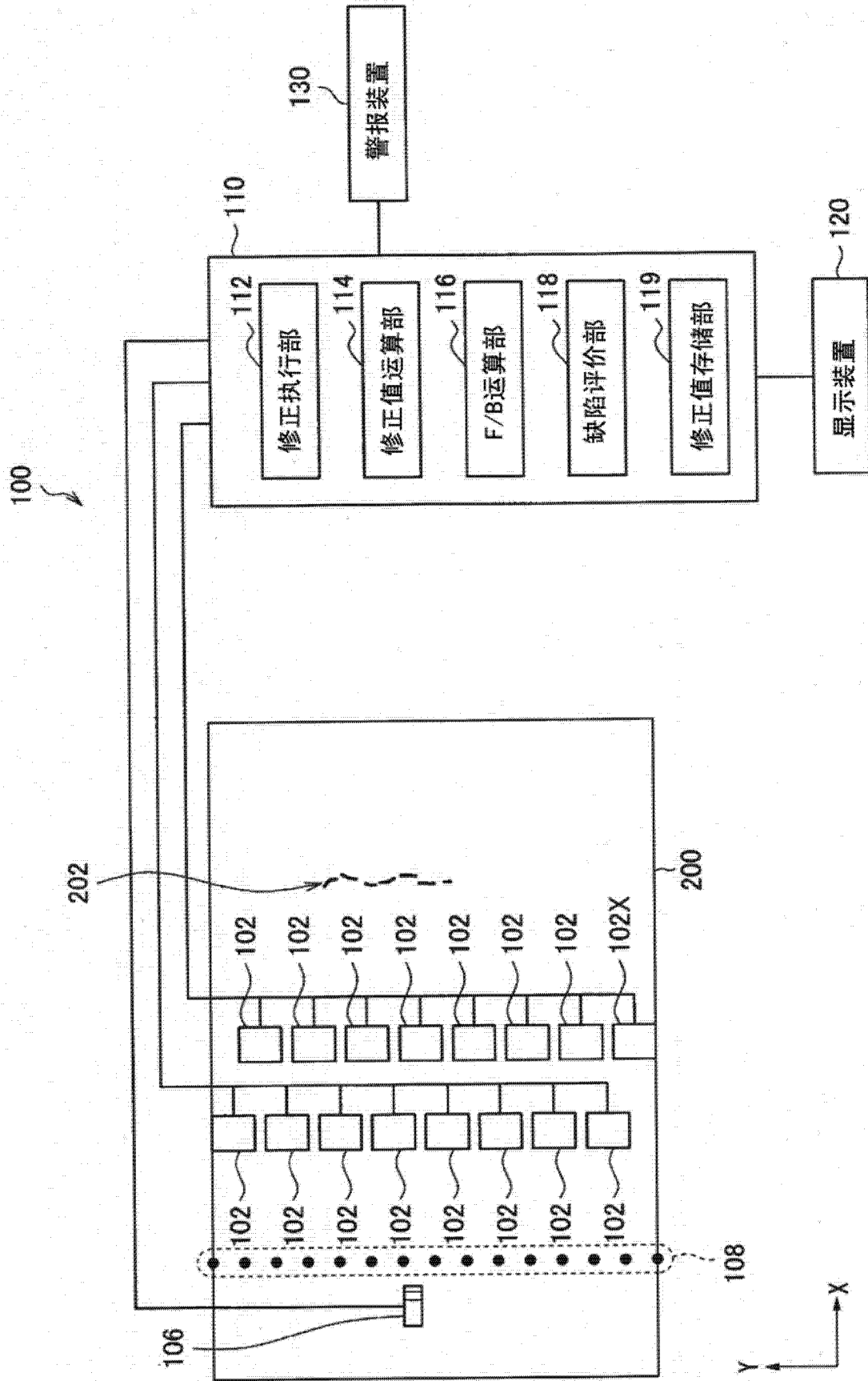


图 1

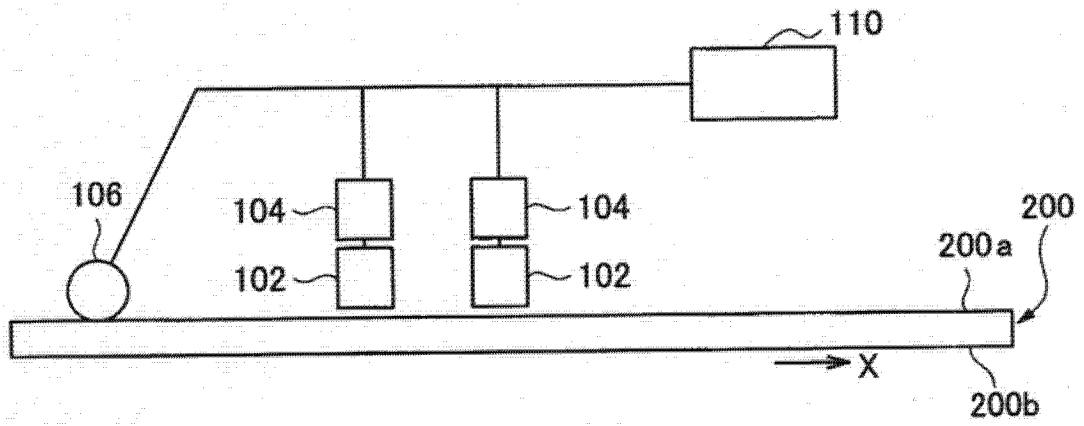


图 2

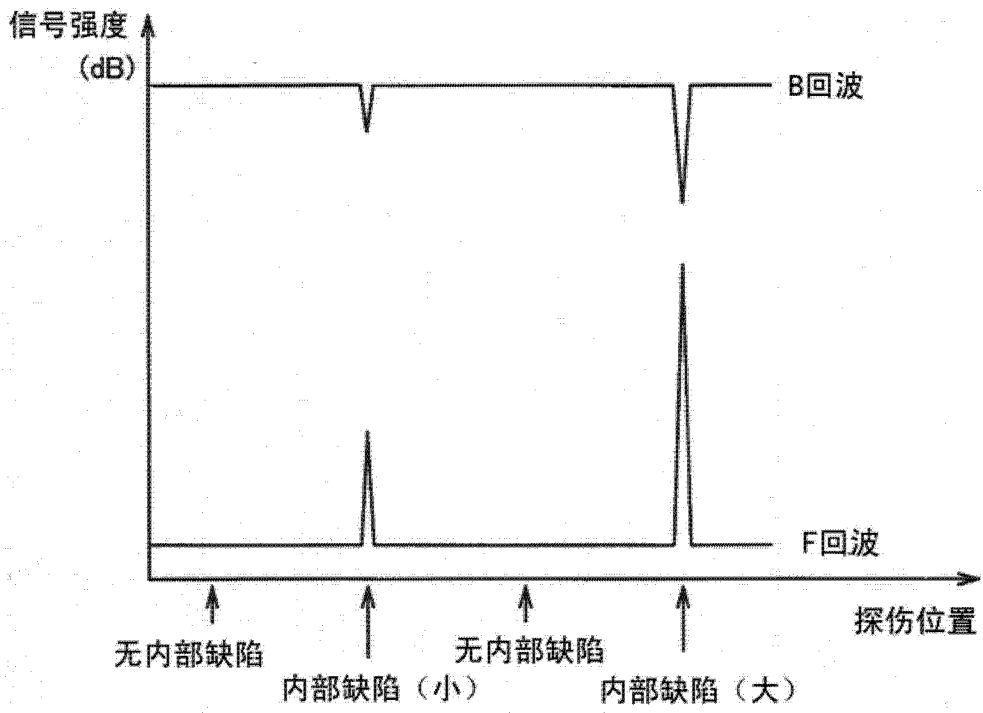


图 3A

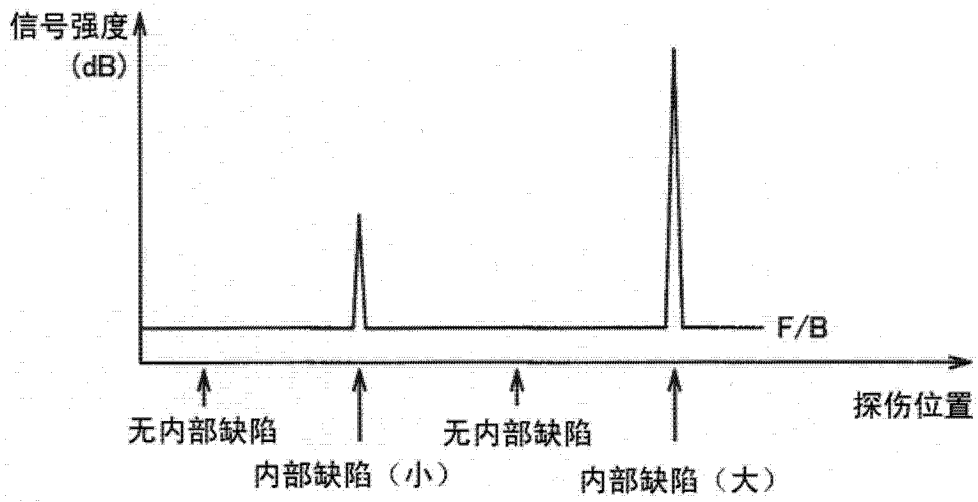


图 3B

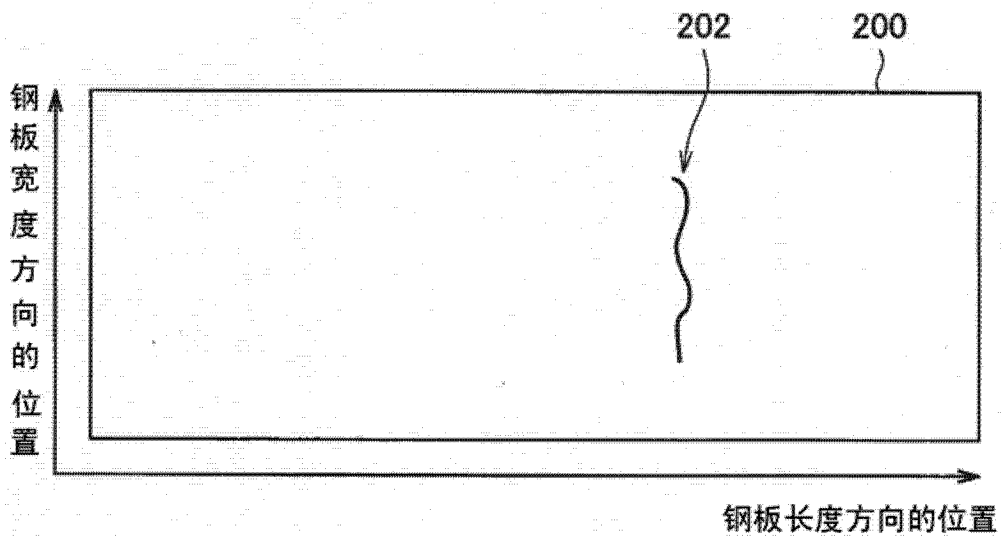


图 4

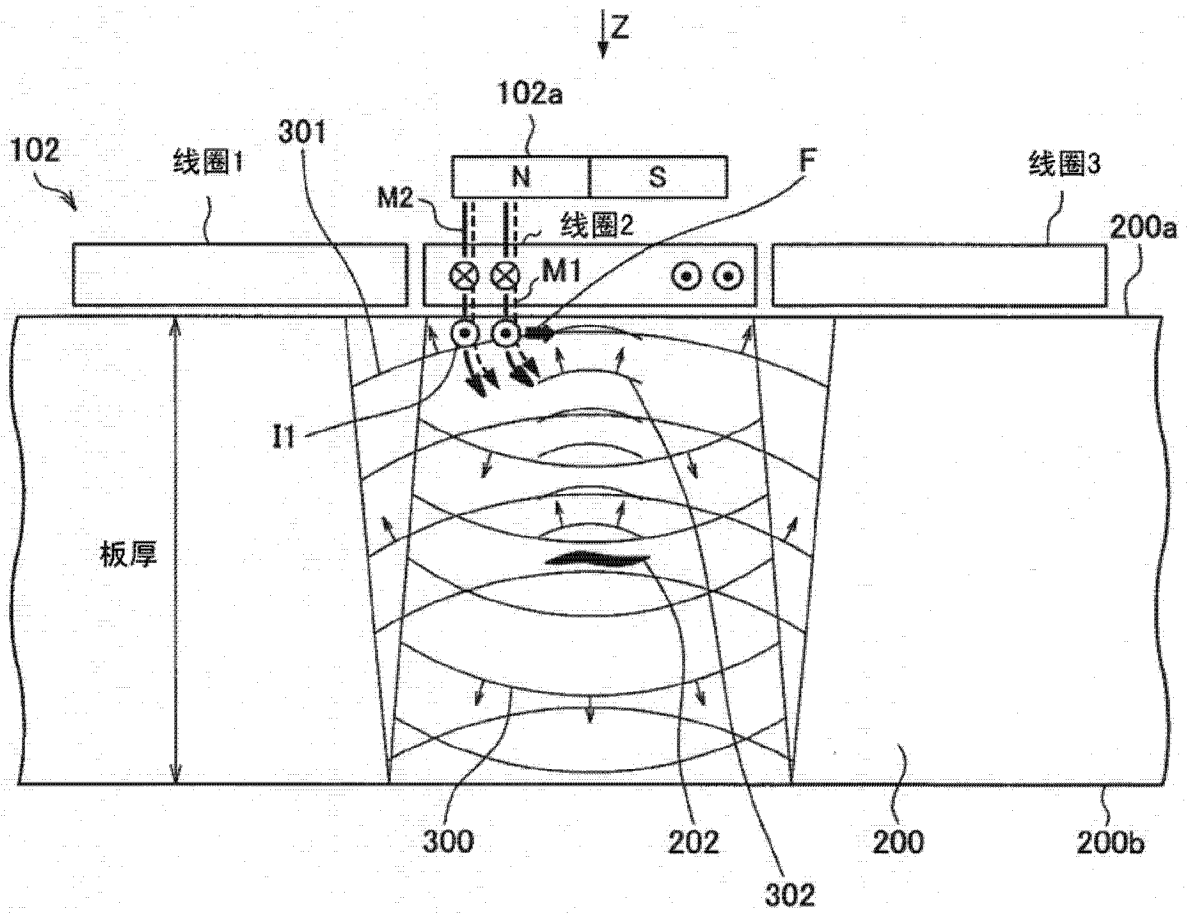


图 5

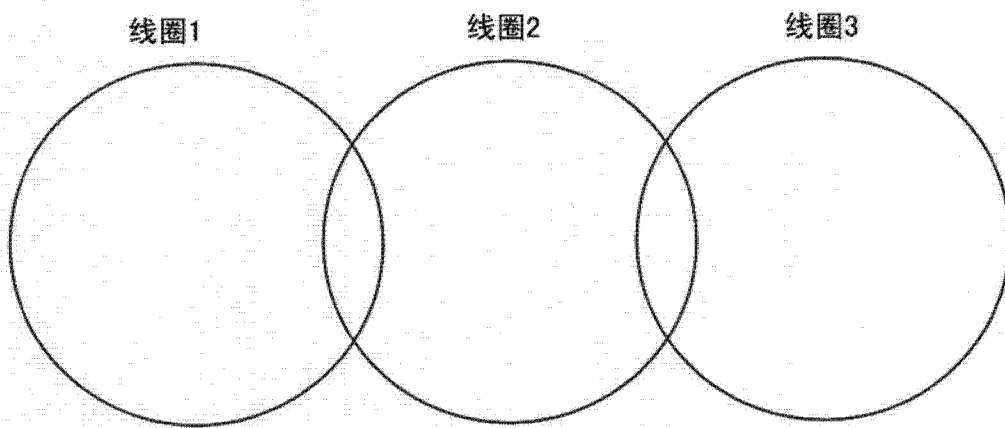


图 6

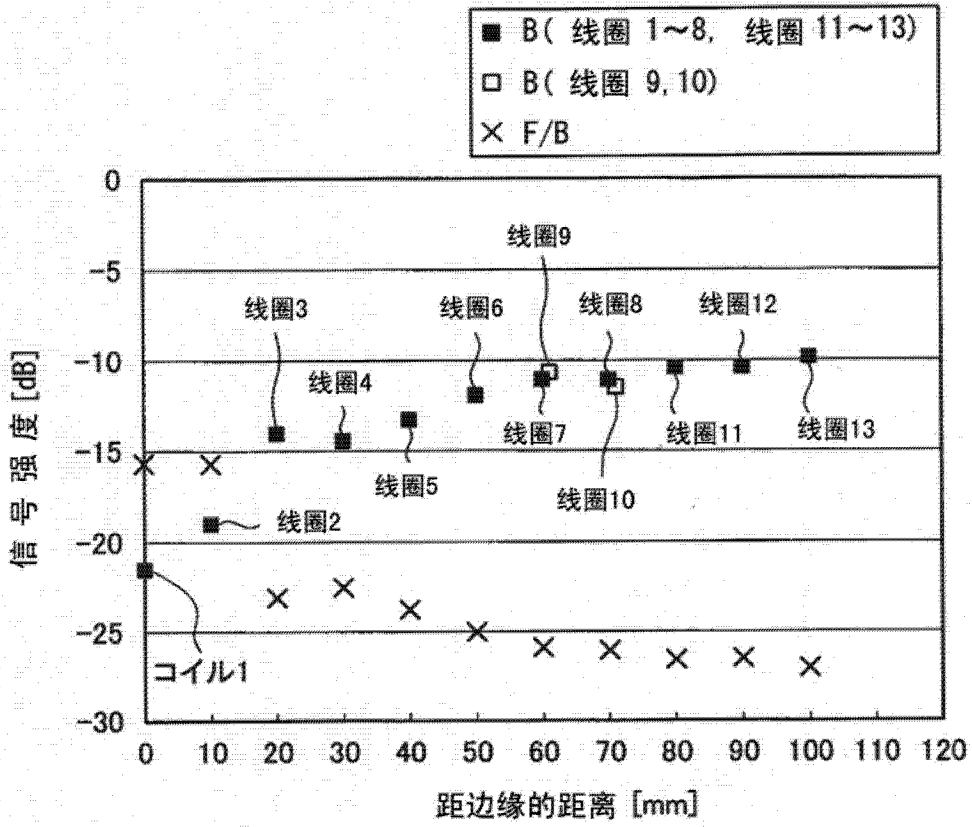


图 7

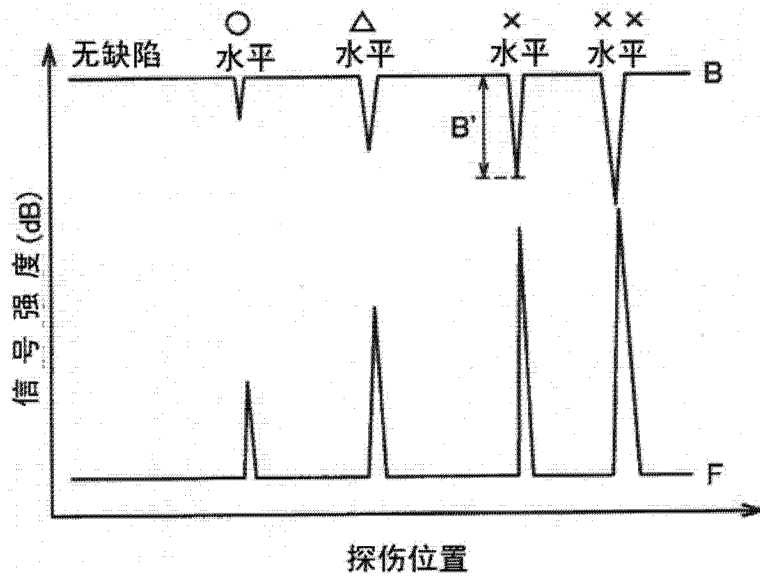


图 8A

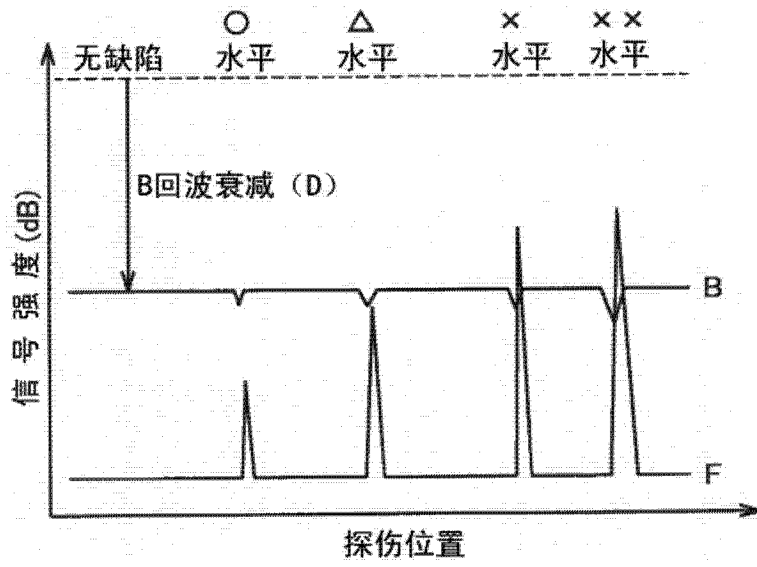


图 8B

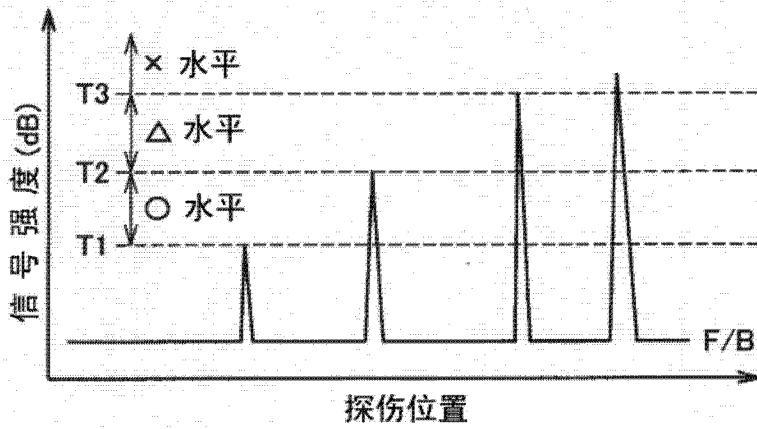


图 8C

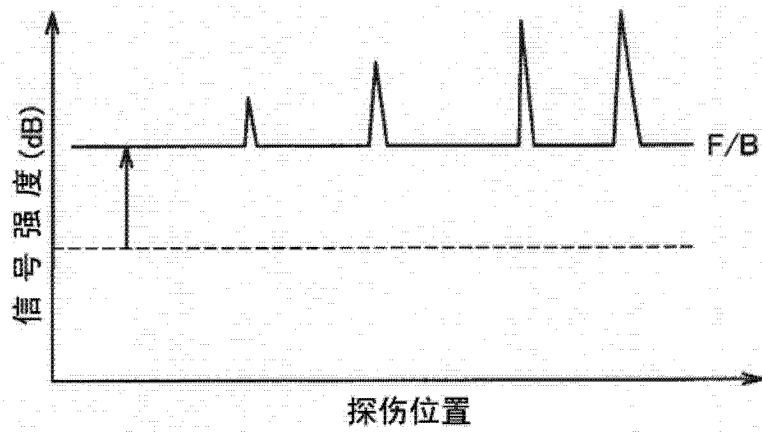


图 8D

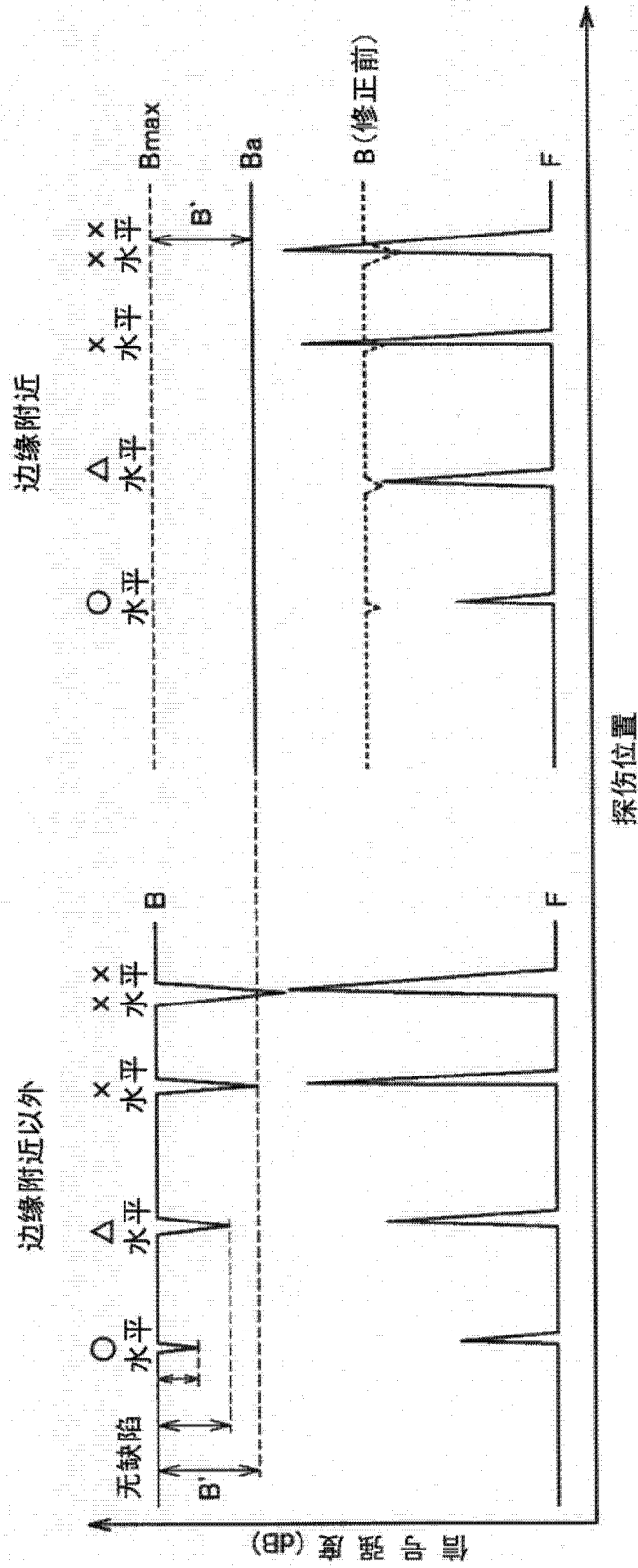


图 9A

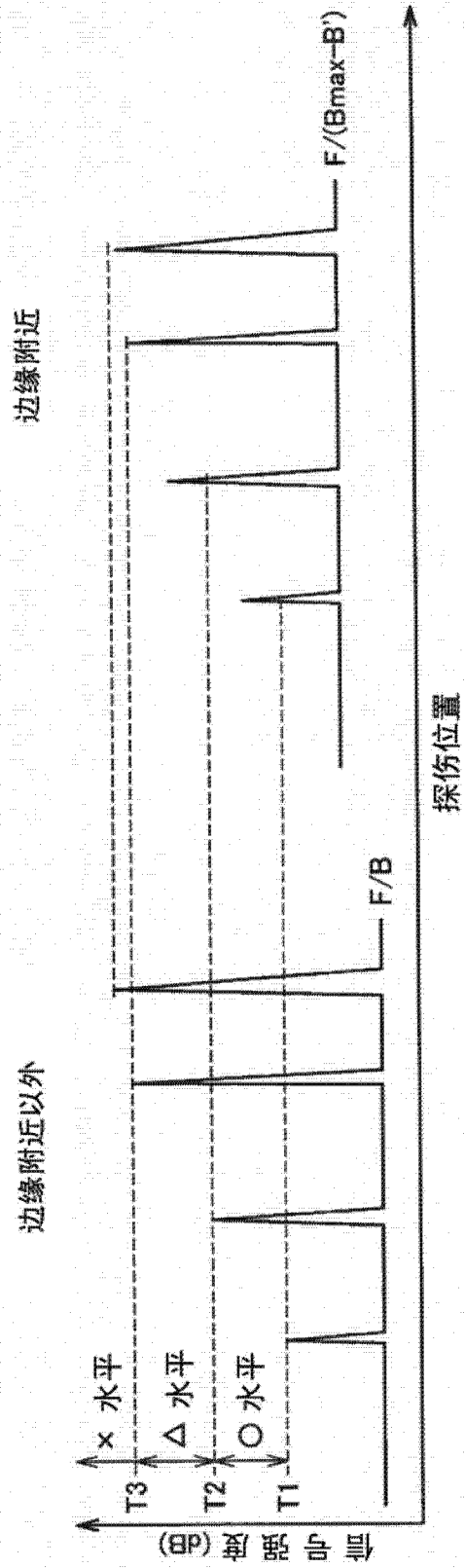


图 9B

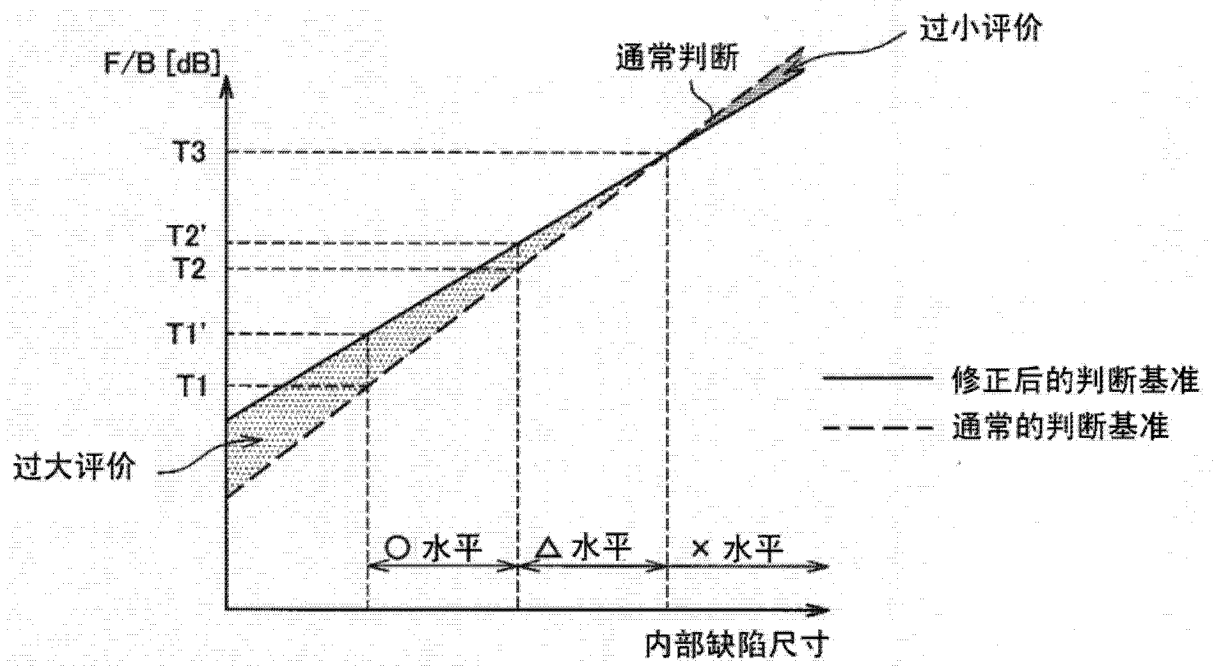


图 10

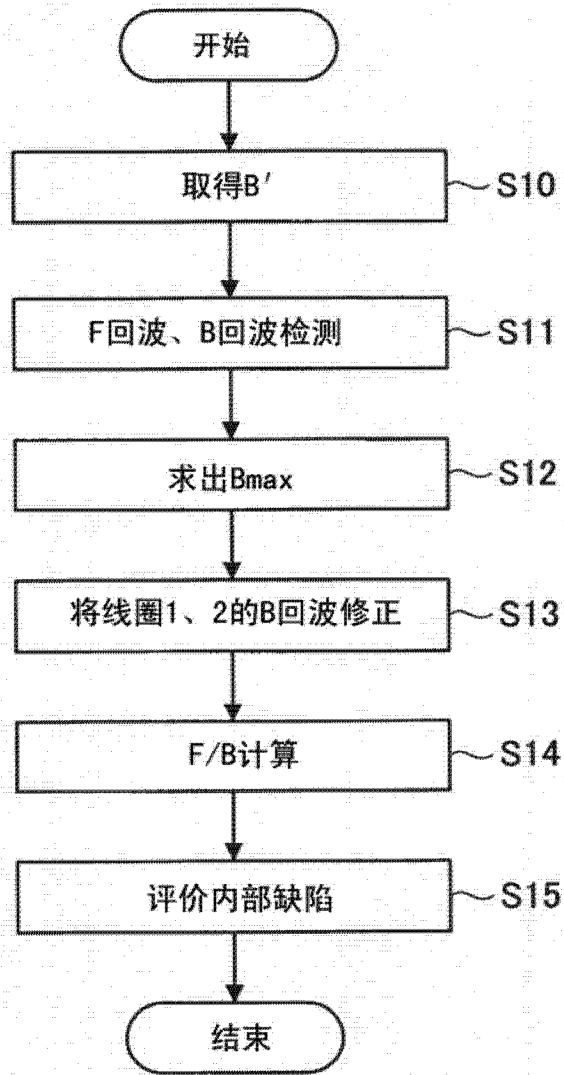


图 11

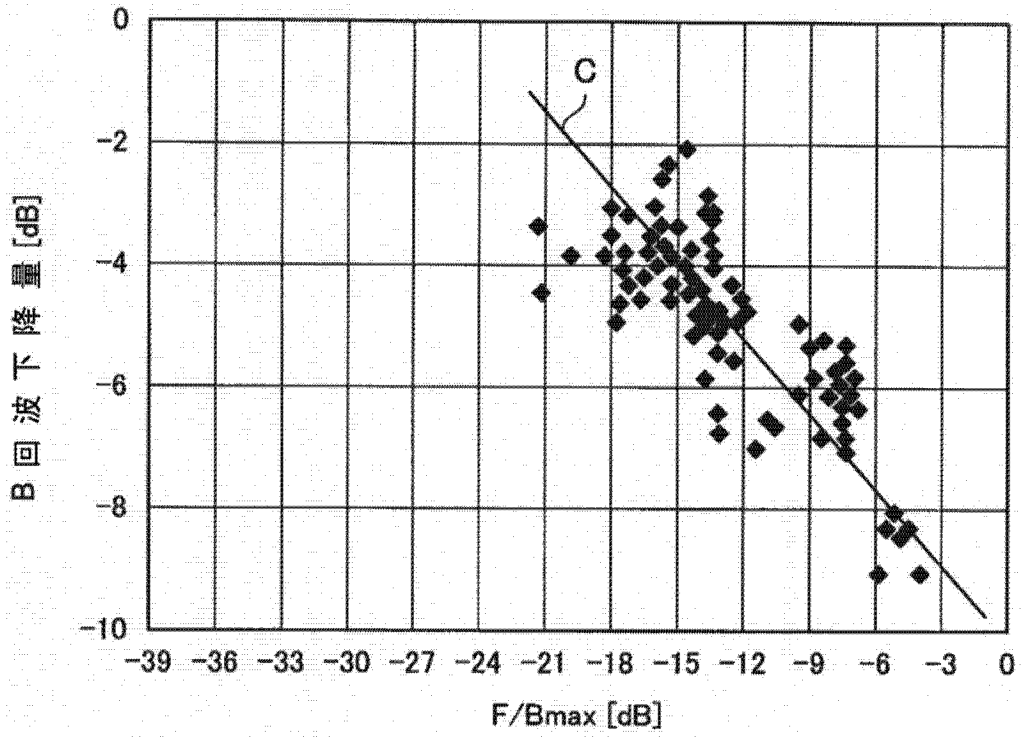


图 13

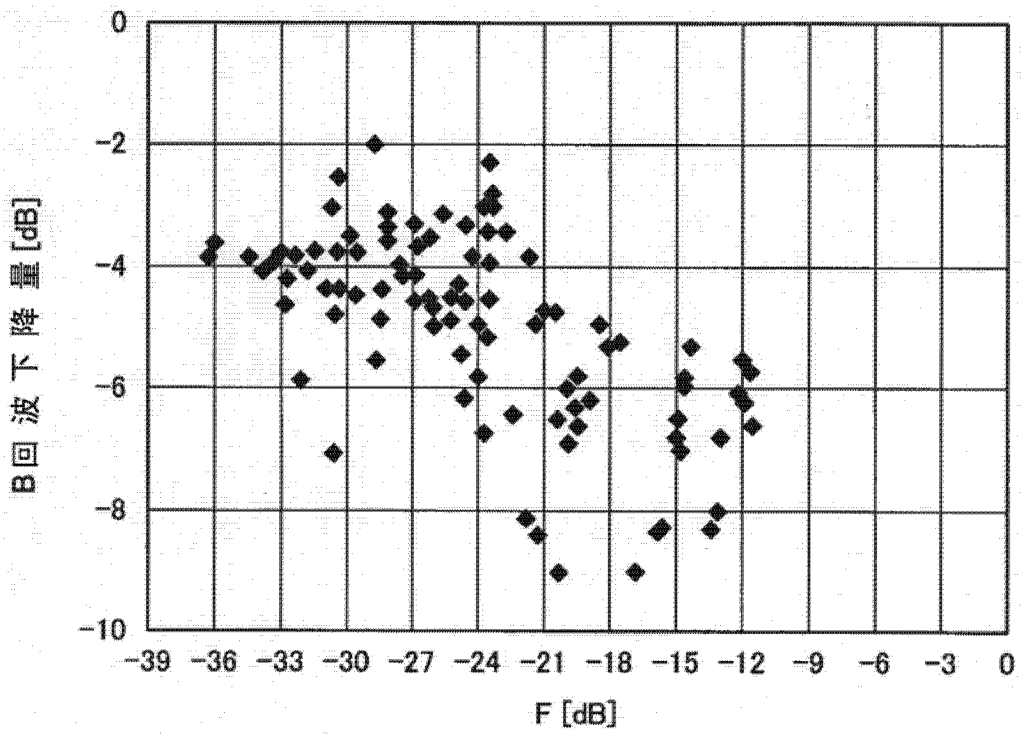


图 14

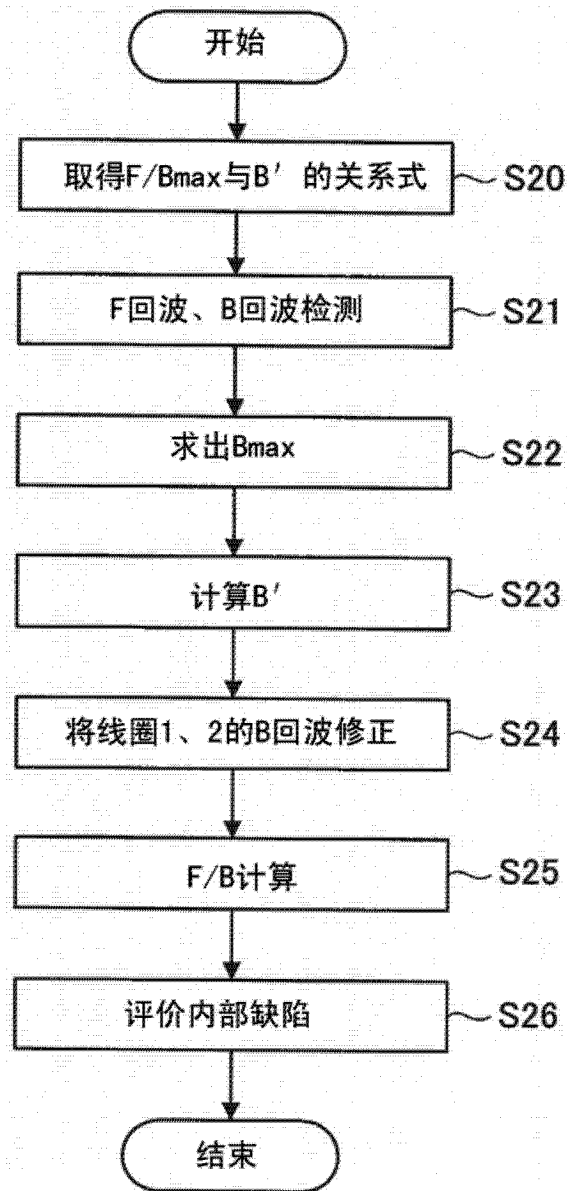


图 15