

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01N 27/72

G01R 33/00



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00817778.3

[45] 授权公告日 2005 年 12 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1231752C

[22] 申请日 2000.12.12 [21] 申请号 00817778.3

[30] 优先权

[32] 1999.12.22 [33] DE [31] 19962184.5

[86] 国际申请 PCT/DE2000/004429 2000.12.12

[87] 国际公布 WO2001/046682 德 2001.6.28

[85] 进入国家阶段日期 2002.6.25

[71] 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

[72] 发明人 加布里埃尔·达尔曼斯

鲁迪格·多尔 克劳斯·温齐尔

审查员 赵晓宇

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

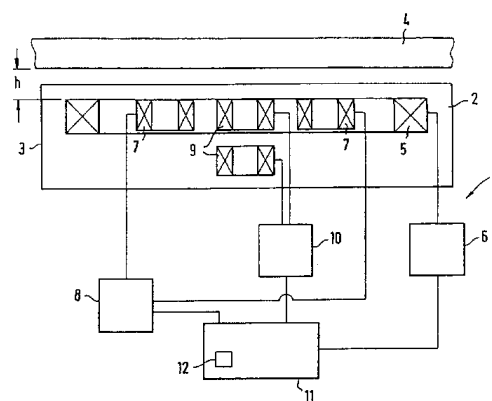
代理人 侯宇 陶凤波

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 1 页

[54] 发明名称 对金属工件从非磁相到铁磁相转换度在线检测的方法和装置

[57] 摘要

一种利用涡流测量方法对金属工件中从非磁相到铁磁相的转换度进行在线检测的方法，其中，利用两个距工件距离不同的距离测量线圈来检测与距离相关的信号，并根据该信号求出与距离相关的计算值，以及根据该计算值及检测器测量线圈的另一个测量信号确定转换度的度量值。所述检测器测量线圈用于测量由对工件施加激励磁场所产生的响应磁场。



ISSN 1008-4274

1. 一种用于在对金属工件进行预先的热机处理之后, 对其从非磁相到铁磁相的转换度进行在线检测的方法, 其中, 使用了一个设置在工件近旁的测量装置, 其中, 所述检测是借助于施加电磁激励磁场时由工件中所感应产生的非磁相涡流以及由在可能条件下所存在的磁相所产生的响应磁场来进行的, 其中, 用至少一个激励线圈产生至少一个作用于工件的电磁激励磁场, 以及用至少一个检测器测量线圈来测量由施加激励磁场所产生的响应磁场, 其中, 与测量装置到工件的距离相关的检测器测量线圈的测量信号用于求得转换度, 其特征在于, 其具有如下步骤:

- 用两个距工件距离不同的距离测量线圈来测量由施加激励磁场所产生的响应磁场, 其中, 两距离测量线圈用于接收两个其值与距离相关的测量信号, 根据所述测量信号求出一个与距离相关的计算值,

- 依据所述测量信号和计算值求出转换度。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 将由两个测量信号得到的比值用作计算值。

3. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 所述从非磁相到铁磁相的转换度为带状钢工件的 γ - α 相位转换度。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于: 用于产生第一激励磁场的激励线圈被这样以高激励频率来驱动, 即使得非磁相的响应磁场大于在可能条件下出现的铁磁相的响应磁场, 其中, 该第一激励磁场用于产生由距离测量线圈所测量的第一响应磁场。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 其特征在于: 所述激励频率 $\geq 1\text{MHz}$ 。

6. 如权利要求 4 所述的方法, 其特征在于: 所述激励频率 $\geq 10\text{MHz}$ 。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于: 用于产生第二激励磁场的激励线圈被这样以低激励频率所驱动, 即使得非磁相的响应磁场小于可能情况下出现的铁磁相的响应磁场, 其中, 该第二激励磁场用于产生由检测器测量线圈所测量的第二响应磁场。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其特征在于: 所述激励线圈被施加位于 KHz 范围内的激励频率。

9. 如权利要求 7 所述的方法, 其特征在于: 用至少一个激励线圈来产

生低频磁场，其场强大于工件的矫顽场强，其中，由该低频磁场所产生的响应磁场用检测器测量线圈加以测量，并根据所获得的测量信号确定工件的矫顽场强。

10. 如上述权利要求之一所述的方法，其特征在于：对所采用的至少一个激励线圈可以施加不同的激励频率。

11. 一种用于在对金属工件进行预先的热机处理之后，对其从非磁相到铁磁相的转换度进行在线检测的测量设备中的测量装置，其包括至少一个用于产生作用于工件的电磁激励磁场的激励线圈和用于测量由对工件施加激励磁场而产生的响应磁场的检测器测量线圈，其特征在于：设置了两个相互间隔一定距离的、位于距工件(4)不同距离处的距离测量线圈(9)，用于分别测量由对工件施加由至少一个激励线圈(5, 14)产生的电磁激励磁场所产生的响应磁场，所述距离测量线圈提供与距离相关的、可被进一步处理的测量信号。

12. 如权利要求 11 所述的测量装置，其特征在于：所述两个距离测量线圈(9)被相互对准地排列。

13. 如权利要求 11 所述的测量装置，其特征在于：所述从非磁相到铁磁相的转换度为带状钢工件的 γ - α 相位转换度。

14. 如权利要求 11 或 12 所述的测量装置，其特征在于：两个距离测量线圈(9)被设置在环形激励线圈(5)的内部。

15. 如权利要求 14 所述的测量装置，其特征在于：两相互对准排列的距离测量线圈(9)被设置在环形激励线圈(5)的中央。

16. 如权利要求 11 ~ 15 之一所述的测量装置，其特征在于：设置了两个检测器测量线圈(7)。

17. 如权利要求 11 或 16 所述的测量装置，其特征在于：所述检测器测量线圈或者两个检测器线圈(7)被设置在环形激励线圈(5)的中央。

18. 如权利要求 11 ~ 17 之一所述的测量装置，其特征在于：设置了两个第二激励测量线圈(14)，其中，一个激励测量线圈用于产生第一激励磁场而另一个用于产生其频率不同于第一激励磁场的第二激励磁场。

19. 如权利要求 11 ~ 18 之一所述的测量装置，其特征在于：设置了另一激励线圈(16)，它用于在必要时产生第三低频激励磁场。

20. 如权利要求 11 ~ 19 之一所述的测量装置，其特征在于：所述环形

激励线圈(5, 14, 16)、一个或两个环形检测器测量线圈(7)以及环形距离测量线圈(9)之一被设置在同一平面中。

21. 一种用于在对金属工件进行预先的热机处理之后,对其从非磁相到铁磁相的转换度进行在线检测的测量设备,其包括一个测量装置(2, 13, 15),
5 该测量装置(2, 13, 15)包括至少一个用于产生作用于工件的电磁激励磁场的激励线圈和用于测量由对工件施加激励磁场而产生的响应磁场的检测器测量线圈,其中,设置了两个相互间隔一定距离的、位于距工件(4)不同距离处的距离测量线圈(9),用于分别测量由对工件施加由该至少一个激励线圈(5, 14)产生的电磁激励磁场所产生的响应磁场,所述距离测量线圈提供与距
10 离相关的、可被进一步处理的测量信号,和一个用于激励激励线圈(5, 14, 16)的激励单元(6)、至少一个用于接收检测器线圈(7)的测量信号的接收单元(8)、至少一个用于接收距离测量线圈(9)的测量信号的接收单元(10)、以及至少一个用于处理距离测量线圈(9)的测量信号以求出与距离相关的计算值和根据该计算值以及检测器线圈(7)的测量信号来确定转换度的处理单元
15 (11)。

22. 如权利要求 21 所述的测量设备,其特征在于:所述激励单元(6)被设计成用不同的激励频率来激励激励线圈(5, 14, 16)。

23. 如权利要求 21 或 22 所述的测量设备,其特征在于:所述处理单元(11)被设计成以两测量信号之比值的形式的形式求出计算值。

20 24. 如权利要求 21 ~ 23 之一所述的测量设备,其特征在于:在所述处理单元(11)的存储器介质(12)中存储多个不同的可读出的计算值,其中,每个计算值被分配给一个不同的测量信号对。

25. 如权利要求 21 ~ 24 之一所述的测量设备,其特征在于:所述处理单元(11)被设计成根据由检测器测量线圈(7)所提供的测量信号来求出工件
25 的矫顽磁场强度。

对金属工件从非磁相到铁磁相
转换度在线检测的方法和装置

5

技术领域

本发明涉及一种用于在对金属工件进行预先的热机处理之后,对其从非磁相到铁磁相的转换度、尤其是带状钢工件的 γ - α 相位转换度进行在线检测的方法,其中,使用了一个设置在工件近旁的测量装置,其中,所述检测是借助于施加电磁激励磁场时由工件中所感应产生的非磁相涡流以及由在可能条件下所存在的磁相所产生的响应磁场来进行的。其中,用至少一个激励线圈产生至少一个作用于工件的电磁激励磁场,以及用至少一个检测器测量线圈来测量由施加激励磁场所产生的响应磁场,其中,检测器测量线圈的与测量装置到工件的距离相关的测量信号用于求得转换度。

15

背景技术

采用热轧法所制造的高级钢板的机械特性除了取决于钢成分外还取决于离开轧钢机的炽热钢板的冷却方式和方法。在冷却中发生一种再结晶过程,该过程取决于当时的温度和保持时间,其中尤其是构成相的粒晶密度是与时间有关的。在钢板冷却时,除产生一非磁相、即所谓的 γ 相外,还产生一铁磁相、即所谓的 α 相。在冷却过程中,相位根据冷却的速度而被凝固,其中这些相并是均衡的。亦即根据冷却的速度、即所进行的冷却斜率,晶相成分可以是变化的,其中钢的成分当然也起着作用,因为形成新的相时的温度是与钢的成分相关的。在一定的钢成分条件下所给出的相变过程可从铁-碳相位图中加以了解。

采用一定的冷却方法使晶相成分改变的可能性的前提条件是:要能尽量精确地确定金属的温度,以便知道何时开始形成一定的相。另外也可以比如根据对金属热幅射的测量或者采用红外扫描来确定温度,但这些测量方法仅能提供很不精确的值,因为在金属表面上形成的氧化层会使测量的结果有误。因此要求测量氧化层下金属的温度,而这一测量用上述方法是不可能完成的。

对从非磁性 γ 相到铁磁性 α 相的相变过程的确定通常是在利用铁-碳相位图所精确测定的温度下根据具体的钢的成分来进行的, 可以采用一种涡流检测方法进行。在该方法中, 产生一个作用于金属工件的电磁激励磁场。非磁相和铁磁相对该电磁场的反应是不同的。在非磁相中, 金属工件的电子根据所加的电磁场进行运动并屏蔽磁场, 这种电子运动导致产生涡流, 涡流反过来又产生反磁场, 该反磁场削弱所加的外激励磁场。两种磁场是相对立的。非磁相的响应因此导致对所加电磁场的削弱。

铁磁相的反应正好与此相反。由于磁矩的耦合作用, 铁磁相将对准在所加的激励磁场或初级磁场的方向上。这种因对准而产生的磁场增强了激励磁场。总起来说, 对于非磁相和铁磁相会产生两种相反的过程。

如果现在用一适当的放置在金属工件近旁的检测线圈来测量金属工件的响应, 那么在高于到 α 相的相变过程温度的工件温度时, 可测量到一个较小的合成磁场, 该合成磁场是由通过涡流削弱的初级磁场而产生的。一旦 α 相的粒晶形成过程开始, 用检测线圈所测量的合成磁场将根据增强初级磁场的磁相磁场成分而变化。这一跳变可被十分精确地测量到, 由此也就能精确地确定温度。根据在冷却过程中磁相成分的增加, 所产生的合成磁场的变化也随之增大, 这样便可根据所获得的测量值来确定与温度相关的转换度。

实际中用上述涡流测量方法来确定转换度却是不可能的。这是因为测量过程中钢板运动的缘故。从轧钢机中出来的灼热的钢板连续地经过位置固定的测量装置并运动到一冷却段。然而钢板的运动是不均匀的, 更确切地说是晃动和振颤着经过传动段的传动滚轮的。由于这种非均匀的运动会带来许多问题。由涡流所产生的磁场强度取决于工件表面到检测线圈的距离, 随着距离的增大, 场强会大大减小。由于钢板相对于位置固定的检测线圈的晃动, 所获得的测量信号也随钢板的运动而变化, 因为涡流磁场连续地随带钢的振动而变化。此外, 电磁激励磁场不仅渗入工件中, 而且也被工件所反射。仅仅由于晃动便可得到影响测量信号的干扰信号。

另一个问题是金属的高温。对至关重要的相变过程的温度大约在 900°C 左右。这样的高温导致测量配置或检测器线圈产生一定的与温度相关的形状改变。若沿冷却段分布较多的线圈, 则几乎不能得到可以比较的结果, 因为由于线圈形状的改变, 分布的各线圈到金属带的距离也发生了变化。

同样对单个线圈来说，其形状的改变也带来了困难，因为金属板的温度在检测器线圈范围内也随着当时所应用的冷却过程发生变化。

从 US 4,686,471 中已知有一种用于测量转换度的测量系统，该系统根据上文所述的方法工作，其中，设置了一个激励线圈和两个检测器线圈。

- 5 该激励线圈和检测器线圈都位于同一平面内，且两检测器线圈与激励线圈的距离不同。

发明内容

本发明要解决的技术问题是，提出一种能够尽可能精确地在线检测转换度的方法。

为解决该技术问题，提出了一种在本文开始所述的具有以下步骤的方法：

- 15 - 用两个距工件距离不同的距离测量线圈来测量由施加激励磁场所产生的响应磁场，其中，两距离测量线圈用于接收两个其值与距离相关的测量信号，根据所述测量信号求出一个与距离相关的计算值，

- 依据所述测量信号和计算值求出转换度。

按照如本发明的方法实现了实际的测量装置到工件的距离测量。为此，特别具有优点地设置了两个距离测量线圈，它们到工件、亦即钢带具有不同的距离。由于涡流磁场极大地取决于工件表面到测量装置的距离，因此
20 得到两个不同的信号。由此可求出一计算值，该计算值跟距离有关且给出一个对实际距离的度量。为此比如可计算出线圈电压间的关系，该关系与涡流的大小无关，亦即与材料性质无关，但却与距离有关。作为测量信号在这种情况下使用线圈电压。

根据所得到的与距离相关的计算值，则可连续地得到一个实际距离的
25 度量。在检测器测量线圈中所得的信号、比如在线圈中所获得的感应电压本身取决于激励电流，亦即取决于激励磁场以及一个与测量装置的距离和转换度相关的函数，一般地有如下关系式：

$$V_{\text{检测器线圈}} = I_{\text{激励}} \cdot F(h, f\alpha),$$

其中： $V_{\text{检测器测量线圈}}$ = 检测器测量线圈上的感应电压

30 $I_{\text{激励}}$ = 激励电流

h = 工件与测量装置间的距离

$f\alpha$ =钢板中铁磁相分量

如若现在已知工件与测量装置间的距离，则可求出铁磁相分量，或也可根据可采集的相位分量来确定金属温度。

由此，根据本发明可用一种高激励频率来驱动用于产生第一激励磁场的激励线圈，该激励磁场产生由距离测量线圈测量的第一响应磁场，这样一种高激励频率使得非磁相的响应磁场大于一定条件下的铁磁相磁场。根据这一实施方式，将激励频率选择得如此之高，使得非磁相成分的涡流响应明显大于铁磁相成分的涡流响应。确保这一点是十分具有优点的，因为磁性成分的信号根据另一规律较之非磁成分的信号则随距离下降。铁磁相成分则不能完全跟随、或者完全不能跟随高频。距离测量线圈因而仅测量涡流的响应磁场。优选地选择激励频率 $\geq 1\text{MHz}$ ，尤其是 $\geq 10\text{MHz}$ 。

根据本发明的另一个具有优点的实施方式，设置了：用一低激励频率来驱动用于产生第二激励磁场的激励线圈，该激励磁场产生由检测器测量线圈测量的第二响应磁场，这样一种低激励频率使得非磁相的响应磁场小于一定条件下所具有的铁磁相的响应磁场。将激励频率选择得如此低，使得正比于激励频率三次幂的金属涡流响应与(正比于导磁率与激励频率之积的)磁响应相比是微不足道的。激励线圈在此应用一位于 KHz 范围内的激励频率来激励。优选地设置了用于各线圈的滤波器，这样每个线圈仅测量与它相关的频率。

除相转换度外，铁磁相的矫顽磁场强度也表示了一种所关心的材料参数。为能与转换度同时也检测这种参数，根据本发明设置了：用该激励线圈或另一激励线圈产生一低频磁场，其场强大于工件的矫顽磁场强度，其中由该低频磁场所产生的响应磁场用检测器测量线圈来测量且根据所得的测量信号来确定工件的矫顽磁场强度。该第三激励磁场的场强应是可调的且比工件的矫顽磁场大。涡流响应则根据该磁场来加以测量，由此可检测矫顽磁场强度。该矫顽磁场强度由此被用作附加的检测磁相变过程的测量值。在检测器测量线圈的前面接有一滤波器，该滤波器可精确测量不同的响应频率，亦即一方面测量由施加第二激励磁场而产生的响应磁场，另一方面则测量由施加第三激励磁场而产生的响应磁场。

尽管为产生激励磁场可使用分开的激励线圈，但当仅仅使用一个由不同激励频率所激励的激励线圈时，则仍证明是合适的。可用的激励线圈的

数量最终取决于具体的激励频率。线圈越大，则惯性越大。大线圈仅用于产生低频磁场，即比如第三低频激励磁场。为产生两个第一较高频率的激励磁场，则一个大线圈便具有太大的惯性，因此在这种情况下，为产生该两个磁场则优选地使用一个(或两个)小的、更快的线圈。

- 5 除了根据本发明的方法外，本发明还涉及一种用于在对金属工件进行预先的热机处理之后，对其从非磁相到铁磁相的转换度、尤其是带状钢工件的 γ - α 相位转换度进行在线检测的测量设备的测量装置，其中，所述测量装置包括至少一个用于产生作用于工件的电磁激励磁场的激励线圈和用于测量由对工件施加激励磁场而产生的响应磁场的检测器测量线圈。根据本
- 10 发明的测量装置其特点是：设置了两个相互间隔一定距离的、位于距工件不同距离处的距离测量线圈，用于分开测量由对工件施加由该激励线圈或一个激励线圈所产生的电磁激励磁场所产生的响应磁场，所述距离测量线圈提供与距离相关的、可被进一步处理的测量信号。

- 两距离测量线圈优选地被排列成相互对准。它们可被设置在环形激励
- 15 线圈的内部。在相互对准排列的距离测量线圈的情况下，应将它们设置在环形激励线圈中央，这样它们总共给出一个对称的测量配置。

- 根据本发明，设置了两个检测器测量线圈。第二个线圈有利于改善信噪比，为此两线圈的测量信号可作互相关处理。两线圈因此具有相同的构造。该检测器线圈或该两个检测器线圈同样也可被设置在环形激励线圈的
- 20 内部。

- 根据本发明的一个优选实施方式，提供一个第二激励线圈，其中一个激励线圈用于产生第一激励磁场，另一个线圈用于产生一个其频率不同于第一激励磁场的第二激励磁场。所产生的第一激励磁场提供一个第一工件一侧产生的响应磁场，它比如由距离测量线圈来测量。第二个、其频率不
- 25 一样的激励磁场则提供第二响应磁场，它具有不同于第一响应磁场的频率，该频率可由检测器测量线圈测量。所设置的相应的滤波器可使线圈十分精确地测量频率。

按照本发明的目的还可设置另一激励线圈，在必要时用它来产生第三低频激励磁场。

- 30 该环形激励线圈或两个环形激励线圈、该环形检测器测量线圈或两个环形检测器测量线圈以及两环形距离测量线圈之一优选地被设置在一个平

面中。

本发明还涉及一种测量设备，用于实施上述类型的方法，它包括一上述类型的测量装置，以及至少一个用于激励激励线圈的激励单元、至少一个用于接收检测器线圈的测量信号的接收单元、至少一个用于接收距离测量线圈的测量信号的接收单元、以及至少一个处理单元，用它来处理距离测量线圈的测量信号以求出与距离相关的计算值，以及用来根据该计算值和检测器测量线圈的测量信号确定转换度。其中，激励单元可设计成以不同的激励频率来激励激励线圈。

根据本发明处理单元可被设计成用于求出表示两测量信号间关系的计算值，该计算值优选地为距离测量线圈中的感应电压。

在本发明的另一实施方式中，处理单元可包括一存储介质，其中存有多多个不同的可读出的计算值，其中，每个计算值被分配给一不同的测量信号对。由此可获得一个标定。因此并不需要对计算值每次重新加以计算，而是在输入测量信号时，对属于信号对的、存储于存储器中的计算值加以采集并读出以用于进一步的处理。标定可如下进行：将测量装置以不同距离放在金属件的近旁，该金属件具有与要制造的钢板相同的导电率。对于每一种距离采集两个距离测量信号，并计算出与此相关的计算值及根据相应的信号进行存储。

最后，处理装置被设计成根据检测器测量线圈所提供的测量信号来求取工件的矫顽磁场强度。

附图说明

通过以下对本发明的实施方式以及附图的说明本发明的其它优点、特点和细节将更加清楚。附图中：

图 1 为根据本发明的测量设备，它具有根据本发明第一实施方式的测量装置，

图 2 为一根据本发明的第二实施方式的测量装置，

图 3 为一根据本发明的第三实施方式的测量装置。

具体实施方式

图 1 示出根据本发明的测量设备 1，它包括根据本发明第一实施方式

的测量装置 2。在测量装置 2 的壳体 3 中，该测量装置 2 被设置在靠近一被检查的带形金属工件 4 的旁边，设置了一激励线圈 5，该激励线圈 5 是一个较大的环形线圈。激励线圈 5 与一激励单元 6 相连，激励单元 6 用于激励激励线圈 5。借助激励线圈 5 至少产生一个具有一定频率的作用于工件 4 的电磁激励磁场。工件 4 根据工件温度由一种非磁金属相、即所谓的 γ 相和在温度足够低时开始或者已经开始的形成相位的铁磁 α 相所组成。相对于所施加的激励磁场，这两种相的行为是不一样的。在非磁 γ 相中，电子被移动，从而产生涡流，该涡流又产生一电磁涡流磁场，该磁场方向与外部激励磁场或初级磁场方向相反，从而导致磁场削弱。而对在必要时所具有的 α 相，磁矩则对准在激励磁场的方向上，该磁矩加强磁场。根据是否仅出现非磁相或者部分铁磁相的情况，所产生的响应磁场是不同的。该产生的响应磁场用两个检测器测量线圈 7 来测量。检测器测量线圈 7 提供测量信号，这些测量信号被输入一用于接收测量信号的接收单元 8。在该接收单元中优选地集成有一放大器单元，为将测量信号放大，这些测量信号优选地为所采集的感应线圈电压。这两种测量信号可作互处理，以改善信号的信噪比。

尽管测量装置 2 或线圈被配置在距工件 4 表面距离为 h 处，但在测量进行过程中由于带形工件 4 的输送而引起的不均匀运动，该距离也会发生变化。工件 4 相对于位置固定的测量装置 2 晃动，这样距离 h 也连续地且不均匀地发生改变。由于涡流磁场强烈地依赖于工件表面到测量装置的距离且随距离的增大而迅速减小，因而要求连续地确定该距离，以实现转换度的一种可靠的测定。为此在测量装置 2 中设置了两个距离线圈 9，它们以与工件 4 的不同距离相互对准地排列。距离测量线圈 9 优选地测量非磁相成分的涡流响应，为此激励线圈 5 的激励频率相应地被选得比较高。由此便得到两个不同的、与距离有关的测量信号。这两个信号被输入到接收单元 10，在其中它们优选地被图中未示出的一放大装置所放大。全部测量信号以及各个激励频率被输入一处理装置 11，在其中根据所输入的信号和频率信息来确定 γ 相到 α 相的转换度。处理装置 11 具有一存储器介质 12，在其中储存有不同的距离测量信号对，它们在一个标定的范围内被计算，其中，对每一距离测量信号对均存储有一定的计算值。对转换度的实际确定是根据取决于信号的和取决于距离的计算值来进行的，该计算值根据所给的距离测量信号可被从存储器介质中读出，也可根据检测器测量线圈的

信号被读出。计算结果可从处理装置 11 被输出到任意一个输出介质上。

激励单元 6 被设计成以不同的激励频率来同时激励激励线圈 5。一方面对激励线圈 5 以一高激励频率驱动，以产生第一高频激励磁场，其频率之高使得非磁相成分的涡流响应大于铁磁相成分的涡流响应。由此产生的响应磁场由两个距离测量线圈 9 所测量。为此设置了相应的滤波器，以保证距离测量线圈 9 仅对该频率范围进行测量。

另外，激励线圈 5 还被以一低频率驱动，以产生第二激励磁场，其频率之低被选择成使金属相的涡流响应与铁磁相的响应相比是很小的、或者是可忽略的。由此产生的低频响应磁场用两个检测器线圈来测量。同样在这里也设置了滤波器。最后，对激励线圈 5 还可以用第三低频频率来激励，以产生第三低频磁场。该磁场的场强应是可调节的且大于金属的矫顽磁场。对该低频激励磁场的低频涡流响应同样用检测线圈 7 来测量。处理装置 11 能够根据这些低频测量信号求出金属的矫顽场强。

图 2 示出根据本发明的测量装置 13 的另一实施方式。如同测量装置 2 一样，测量装置 13 也具有两个距离测量线圈 9 和两个检测器测量线圈 7。然而其中设置了两个分开的激励线圈 14，其中的一个用于产生两个上述第一激励磁场，另一个激励线圈则用于产生频率非常低的第三磁场，该磁场用于求出矫顽磁场强度。用该低频磁场几乎能脱离矫顽场强范围内的迟滞回路。该实施方式的优点在于，当用于产生该甚低频磁场所需的激励线圈较慢和惯性较大时，就不能够产生用于产生上述两个高频磁场所需的频率明显较高的频率。

最后由图 3 示出根据本发明的测量装置 15 的第三实施方式。其中也设置了上述两个距离测量线圈 9 以及上述两个检测器测量线圈 7。还设置了两个激励线圈 14，其中之一用于产生第一高频激励磁场，另一个则用于产生第二低频激励磁场。此外还设置了第三激励线圈 16，它用于产生低频的、用于确定矫顽场强的激励磁场。

从附图中可看出，全部线圈中除了一个距离测量线圈 9 之外均被设置在一个平面中，这样它们全部距工件表面有相同的距离。

