



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580023733.6

[45] 授权公告日 2009 年 6 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 100498205C

[22] 申请日 2005.6.23

US5889401A 1999.3.30

[21] 申请号 200580023733.6

CN1266483A 2000.9.13

[30] 优先权

CN1052548A 1991.6.26

[32] 2004.7.15 [33] DE [31] 102004034081.1

审查员 张 宇

[86] 国际申请 PCT/EP2005/052925 2005.6.23

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

[87] 国际公布 WO2006/005672 德 2006.1.19

代理人 曹 若 胡 强

[85] 进入国家阶段日期 2007.1.15

[73] 专利权人 罗伯特·博世有限公司

地址 德国斯图加特

[72] 发明人 H·哈赫特尔 S·迈尔

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

[56] 参考文献

CN2140514Y 1993.8.18

CN2172857Y 1994.7.27

US6377039B1 2002.4.23

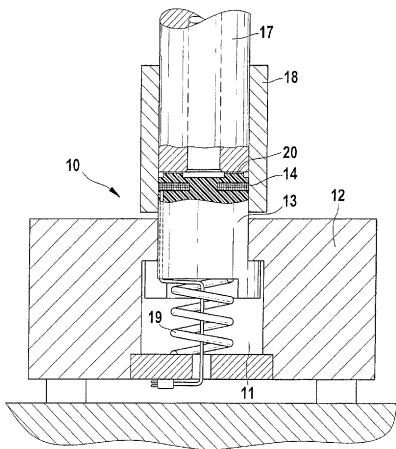
US6366083B1 2002.4.2

[54] 发明名称

用于无接触地确定由导电材料制成的层的厚度的方法

[57] 摘要

本发明涉及一种在构件(17)的附近定位一个由一个线圈体(13)和一个线圈(14)组成的传感器来无接触地确定构件(17)的由导电材料制成的一层(20)的厚度的方法，该方法基于感应和涡流原理的组合。通过多个测量和分析步骤来确定层(20)的厚度，在这些步骤中，用一个第一交流电频率 $f_1$ 和一个第二交流电频率 $f_2$ 作用到线圈(14)上并分析该线圈的电感变化。在此，线圈体(13)、即线圈(14)与构件(17)之间的距离可从作用有第二交流电频率 $f_2$ 的线圈(14)的感应值中导出。



1. 无接触地确定一个由导电材料制成的层（20）的厚度的方法，该层涂覆到由铁磁材料制成的构件（17）上，其中借助于至少一个通流交流电的且安置在一个线圈体（13）上的测量线圈（14）、通过分析测量线圈的电感变化运行下面的测量步骤：

- 第一前测量，用于获得标准值：在只对由铁磁材料制成的构件（17）作为测量对象测量时获得测量线圈（14）的电感值  $L_{0,d,f1}$ ，其中测量线圈（14）以第一交流电频率  $f1$  加载并且线圈体（13）与测量对象之间的距离为  $d$ ；

- 第二前测量，用于获得距离：在只对由铁磁材料制成的构件（17）作为测量对象测量时获得测量线圈（14）的电感值  $L_{0,d,f2}$ ，其中测量线圈（14）以第二交流电频率  $f2$  加载并且线圈体（13）与测量对象之间的距离为  $d$ ；

- 确定特征值：将所获得的电感值  $L_{0,d,f2}$  转换成无量纲的特征值  $K$ ；

- 确定距离：将特征值  $K$  借助于距离特性曲线转换成距离  $d$  的数值；

- 后测量，用于获得标准值：在对要被确定的层（20）测量时获得测量线圈（14）的电感值  $L_{x,d,f1}$ ，其中测量线圈（14）以第一交流电频率  $f1$  加载并且线圈体（13）与涂覆的构件（17）之间的距离为  $d$ ；

- 确定标准值：将所获得的电感值  $L_{0,d,f1}$  和  $L_{x,d,f1}$  转换成无量纲的测量值  $M_e$ ；

- 确定层厚：将测量值  $M_e$  借助于一个调整曲线束在考虑所获得的距离  $d$  的数值条件下转换成一个层厚值  $a$ 。

2. 如权利要求1所述的方法，其特征在于，借助于等式（1）求得无量纲的特征值  $K$ ：

$$K = A \cdot \frac{L_{0,d,f2} - L_{0,max,f2}}{L_{0,min,f2} + L_{0,max,f2}}, \quad (1)$$

其中

$L_{0,d,f2}$  = 第二前测量的电感值；

$L_{0,min,f2}$  = 对于在线圈体（13）与测量对象之间的最小距离时的电

感值，其中，测量线圈（14）以第二交流频率  $f_2$  加载；

$L_{0,max,f2}$  = 对于在线圈体（13）与测量对象之间的最大距离时的电感值；

$A$  = 恒定的系数。

3. 如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述系数  $A$  为 100。

4. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其特征在于，借助于等式（2）求得无量纲的测量值  $M_e$ ：

$$M_e = B \cdot \frac{L_{x,d,f1} - L_{0,d,f1}}{L_{\infty,AB,f1} - L_{0,AB,f1}}, \quad (2)$$

其中

$L_{x,d,f1}$  = 后测量的电感值；

$L_{0,d,f1}$  = 第一前测量的电感值；

$L_{\infty,AB,f1}$  = 在只对由导电材料制成的测量对象测量时测量线圈（14）的电感值，其中线圈体（13）与测量对象之间的距离  $d$  的数值为 AB，以及  $L_{0,AB,f1}$  = 在只对由铁磁材料制成的测量对象测量时测量线圈（14）的电感值，其中线圈体（13）与测量对象之间的距离  $d$  的数值为 AB，其中，测量线圈（14）以第一交流频率  $f_1$  加载；

$B$  = 恒定的系数。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述恒定的系数  $B$  为 1000。

6. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其特征在于，所述第一交流电频率  $f_1$  是高频范围中的频率。

7. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其特征在于，所述第二交流电频率  $f_2$  是低频范围中的频率。

8. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，作为距离  $d$  的数值 AB 选择线圈体（13）与测量对象之间的最小和最大距离的总和的一半数值。

9. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其特征在于，所述调整曲线束具有多个调整曲线，它们分别适用于具体的相互间不同的距离。

10. 如权利要求 9 所述的方法，其特征在于，由调整曲线束中选择那个用于使测量值  $M_e$  转换成层厚值  $a$  的调整曲线，其距离参数值与所获得的距离  $d$  具有最小的偏差。

## 用于无接触地确定由导电材料制成的层的厚度的方法

### 技术领域

本发明涉及一种用于无接触地确定由导电材料制成的层的厚度的方法。

### 背景技术

由 DE 196 52 750 C2 已知一种确定由导电材料制成的层、尤其是铬层的厚度的方法。所述方法基于感应原理与涡流原理的组合。为了执行测量方法，由线圈和线圈体组成的传感器借助于一个弹簧顶压要被测量的构件的表面。多个测量和分析步骤确定层厚，在测量和分析步骤中线圈通流交流电并且分析其电感强度变化。在此产生的例如由构件的材料特性变化或者由脏污或磨损引起的线圈与构件之间的距离差引起的测量误差可以通过导入一个标准值减小。由此也保证在所测得的电感强度值与相应的层厚之间的明确的对应关系。

### 发明内容

按照本发明旨在提出一种确定由导电材料制成的层的厚度的方法，从而能够实现无接触地测量。由此提供一种对于测量对象舒适的、快速的方法。此外消除传感器损伤和/或表面损伤的危险。

为此，本发明提出一种无接触地确定一个由导电材料制成的层的厚度的方法，该层涂覆到由铁磁材料制成的构件上，其中借助于至少一个通流交流电的且安置在一个线圈体上的测量线圈、通过分析测量线圈的电感变化运行下面的测量步骤：在只对由铁磁材料制成的构件作为测量对象测量时获得测量线圈的电感值  $L_{0,d,f1}$ ，其中测量线圈以第一交流电频率  $f1$  加载并且线圈体与测量对象之间的距离为  $d$ ；在只对由铁磁材料制成的构件作为测量对象测量时获得测量线圈的电感值  $L_{0,d,f2}$ ，其中测量线圈以第二交流电频率  $f2$  加载并且线圈体与测量对象之间的距离为  $d$ ；将所获得的电感值  $L_{0,d,f2}$  转换成无量纲的特征值  $K$ ；将特征值  $K$  借助于距离特性曲线转换成距离  $d$  的数值；在对要被确定的层测量时获得测量线圈的电感值  $L_{x,d,f1}$ ，其中测量线圈以第一交流电

频率  $f_1$  加载并且线圈体与涂覆的构件之间的距离为  $d$ ；将所获得的电感值  $L_{0,d,f_1}$  和  $L_{x,d,f_1}$  转换成无量纲的测量值  $M_e$ ；将测量值  $M_e$  借助于一个调整曲线束在考虑所获得的距离  $d$  的数值条件下转换成一个层厚值  $a$ 。

此外在目前的接触测量中测量对象与要被检查的层放置在一个弹性支承的线圈体上并且顶压这个线圈体，用于保证测量对象与线圈体平面平行地接触。在此导引到线圈的线圈 - 连接导线必然一起移动并因此在重复测量以后由于剧烈的磨损而折断。对于按照本发明的无接触测量避免线圈体的运动并由此避免线圈 - 连接导线的折断。

对于无接触测量原则上一个不允许的测量对象加工误差可能是有问题的。由于不等于零的加工误差可能使气隙变化，即，可能使线圈体之间的并由此使线圈与测量对象的距离随着测量变化。由此引起的测量结果错误通过按照本发明的方法在很大程度上减小，因此测量对象对于每个测量循环不必顶压在线圈体上，用于避免距离变化。

在此本方法也具有比按照现有技术的方法更多的优点。尤其在实心产品制成的涂覆部件中可以通过连续进行的测量方法检验。

#### 附图说明

在附图中示出一个本发明的实施例并且在下面的描述中详细解释。

图 1 示出测量装置的一个示意结构，

在图 2 中示出测量线圈在要被确定的层的厚度  $a$  上对于不同的距离和对于位于要被确定的层下面的材料的不同材料特性  $\alpha$  以及  $\beta$  的电感  $L$ ，

在图 3 中示出使用在图 2 中的在测量线圈与测量对象之间不同距离的特性，

图 4 示出线圈电感与气隙（线圈体 - 测量对象的距离）、层厚和所使用的频率之间的关系，

在图 5 中示出线圈电感和特性参数与线圈体 - 测量对象距离的关系，

图 6 示出具有多个调整曲线的调整曲线束，其中每个调整曲线对应于一个具体的、相互不同的距离  $d$ 。

### 具体实施方式

按照本发明的测量方法涉及所谓的感应 - 涡流原理。由 DE 196 52 750 C2 已知一种用于执行本方法的可能的装置。在图 1 中在结构上示出为此所使用的传感器 10。在这个视图中一个构件 17 放置在线圈体 13 上，而对于按照本发明的方法能够实现无接触测量。所述传感器 10 设置在一个基体 12 的空隙 11 里面并且由一个线圈体 13 组成，在线圈体上安置一个由交流电通流的线圈 14。该线圈 14 例如可以是扁平线圈或环形线圈。所述线圈体 13 最好由不导电和不磁化的材料制成、例如塑料，并且几乎无摩擦地在空隙 11 中导引。要被检测的构件 17 设到一个导向体 18 里面，它使构件 17 与线圈 14 相互间定位。借助于弹簧 19 使线圈体 13 并由此使线圈 14 顶压构件 17 的表面，这对于按照本发明的方法不是必需的。该表面具有要被确定的层 20。对于构件 17 例如可以是一个喷射阀的接管。如果通过线圈 14 流过交流电，则产生一个磁交变场，它不仅穿过铬层而且穿过位于其下面的由铁磁材料制成的材料层。在铬层中只有涡流效应有效，而在构件 17 的铁磁材料中感应效应和涡流效应都有效。单独地描述相应的测量效应，它们假设在其它相应的部件不存在的情况下产生。如果线圈 14 通流交流电并且线圈 14 的磁交变场只检测良好导电但是不磁化的材料，即，只由线圈 14 的磁交变场检测铬层，因此只有所获得的涡流效应起作用。由于在良好导电但是不磁化的材料中构成的涡流产生线圈 14 电感的减小。

下面描述通流交流电的线圈 14 的磁场对于与线圈对置的铁磁材料、即对于构件 17 的材料的作用。通流交流电的线圈 14 的磁交变场作用于构件 17 的材料。对此要指出，对于导电且磁化的材料不仅产生铁磁作用而且产生涡流作用。在涡流效应引起材料线圈 14 的电感减小期间，铁磁效应 - 在该文献中也称为感应效应 - 起到提高测量线圈 14 的电感的作用。两种效应的作用优势主要取决于通流线圈 14 的交流电频率和构件 17 的材料特性。如果将这两种测量效应传递到具有铬层的构件 17，则能够确定，铬层越厚，形成的磁场越弱并因此使线圈 14 的电感越弱。在图 2 中以  $\alpha_1$  表示相应的测量曲线，它表示测量线圈 14 的电感随着铬层厚度  $a$  的增加的减小过程。

但是电感  $L$  的测量曲线的走向取决于构件 17 的材料特性，即例如取决于材料的电阻、导磁率并取决于线圈体 13 或者说线圈 14 与要被

测量的表面之间的距离。如果例如由于线圈体 13 脏污或磨损使测量线圈 14 与铬层之间的距离变化，则得到电感  $L$  关于层厚  $a$  的走向的不同特性曲线。在图 2 中示出不同的实施例。在此，特性曲线  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$  和  $\alpha_4$  表示在测量线圈 14 与要被检测的铬层之间距离不同但是构件 17 的材料特性相同时电感  $L$  关于层厚  $a$  的走向。在图 3 中表示在线圈 14 与要被检测的铬层之间的距离  $a$  的大小。可以看出，距离从  $\alpha_1$  至  $\alpha_4$  总是变大。特性曲线  $\beta_1$  至  $\beta_4$  表示对于构件 17 的第二材料特性在测量线圈与要被检测的铬层之间的距离变化。由按照图 2 的曲线图可以看出，所测得的电感值  $L$  可以对应于多个可能的层厚。代替电感也可以分析线圈 14 的交流电阻值。

由现有技术已知，由所获得的电感值实现标准化，它提供一个明确的可对应的测量值并且消除上述的测量误差。为此总共进行三个测量：分别进行具有测量对象的先测量和后测量和只对由导电材料制成的层的标准化的测量。不必对于每个样本都进行用于标准化的测量。而是在原则上只在传感器更换时进行用于标准化的测量并且必要时在时间上间隔式地补偿测量装置就足够了。

按照本发明的方法也可能实现无接触测量。在无接触测量时的主要问题是线圈体 13、也即相关的线圈 14 与测量对象之间距离的变化。在该文献中线圈体 13 与测量对象之间的距离也简称为“距离”或“气隙”。作为测量对象的构件的不是零的加工误差产生距离变化。在实践中加工误差例如对于喷射阀接管为 0.2mm。如果使测量装置的最小误差置于 0.1mm，则一个样本的距离、即线圈体 13 与构件 17 之间的气隙可能在最接近 0.1mm 至 0.3mm 的范围内变化。如果为了无接触地确定层厚按照由现有技术已知的测量和分析步骤执行本方法，则上述的距离变化对于有利的测量条件只略微使测量精度变差。但是为了标准化对于每次测量、包括前测量和后测量必需附加地进行测量。通过下面对于双频测量方法的描述要指出，尽管气隙变化也能够足够准确地确定层厚，在此对于每个测量循环无需在传感器上定位标准部件并且不必执行用于标准化的测量。

如同由现有技术已知的那样，以多个测量和分析步骤实现按照本发明的用于确定层厚的方法。在构件 17 涂覆前，在所谓的第一前测量中获得线圈 14 的电感值  $L_{0,d,f1}$ 。在此对于电感值  $L_{0,d,f1}$  的第一下标“0”

表示层的厚度 ( $0 =$  未涂覆), 第二下标“d”表示线圈体 13 与构件 17 之间的距离的实际值 ( $d$  还未确定), 最后第三下标“f1”表示第一交流电频率  $f_1$ , 以该频率加载线圈 14 (设定  $f_1$ )。在测量期间线圈 14 对准还未涂覆的、面对线圈 14 的构件 17 的表面 (测量面), 其中在线圈体 13 与构件 17 的表面之间产生一个距离  $d$ 。该距离的准确值  $d$  在此时还未知并因此必需还要测得。只相对于未涂覆的构件 17 的材料实现测量。加载在线圈 14 上的交流电频率  $f_1$  是一个高频范围中的频率, 一个适合的值例如是 4MHz。电感值  $L_{0,d,f_1}$  的大小还取决于构件 17 的特性、尤其是其磁和电的特性。构件 17 的特性在批量加工时可能变化。因此在开始测量方法时对于每个单个的构件 17 测得电感值  $L_{0,d,f_1}$  并且也可对应地存储在一个数据存储器里面。

第一高频前测量用于获得一个标准值。现在对此与现有技术的方法不同附加地以第二交流电频率  $f_2$  进行第二前测量。第二交流电频率  $f_2$  是一个低频范围中的频率, 一个适合的值例如是 5kHz。第一和第二前测量通过相同的装置实际上同时进行, 因为交流电频率  $f_1$  与交流电频率  $f_2$  的交替只以几秒钟实现。由此引起的电感值  $L_{0,d,f_1}$  用于获得线圈体 13 与构件 17 之间的距离  $d$ 。

借助于图 4 描述为了不同的目的由不同的频率范围选择第二频率。由图 4 可以看出所测得的线圈 14 的电感  $L$  与线圈体 13 与测量对象之间的距离的关系、与层厚  $a$  和所使用的交流电频率  $f$  的关系。曲线对 1, 2, 3 和 4 示出对于不同的距离值  $d = 0\text{mm}、0.1\text{mm}、0.2\text{mm}$  和  $0.3\text{mm}$  的电感值走向。对于每个距离值  $d$  进行没有涂覆和具有  $a = 7\mu\text{m}$  铬层的测量, 其中在图 4 中表示没有涂覆的测量曲线在曲线上配有点或类似标记。线圈 14 的电感值在其它频率范围上对于四个不同的距离  $d$  分别对于未涂覆的和以  $7\mu\text{m}$  铬涂覆的构件 17 的曲线表示, 在低频范围、例如 30kHz 一个距离变化引起一个大的测量偏移而在高频范围、例如 3MHz 一个层厚变化引起一个大的测量偏移。实施例性地标示出在距离  $d = 0\text{mm}$  时的由于层厚变化引起的测量偏移 5 和在距离  $d = 0.3\text{mm}$  时的测量偏移 6。

为了易于更换传感器有意义且有价值的是, 使由第二前测量测得的电感值  $L_{0,d,f_2}$  不直接转换成一个距离值, 而是首先通过一个算法转化成一个无量纲的特征值  $K$ 。这个特征值  $K$  借助于一个已经接收和存储

的距离特性曲线转换成具体的距离值 d。该特征值 K 通过等式 1 获得：

$$K = A \cdot \frac{L_{0,d,f2} - L_{0,max,f2}}{L_{0,min,f2} + L_{0,max,f2}}, \quad (1)$$

其中

$L_{0,d,f2}$  = 第二前测量的电感值；

$L_{0,min,f2}$  = 对于在线圈体 13 与测量对象间的最小距离时的电感值；

$L_{0,max,f1}$  = 对于在线圈体 13 与测量对象间的最大距离时的电感值；

A = 恒定的系数。

对于在线圈体 13 与构件 17 或通常一个测量对象之间的最小或者说最大距离 d 产生线圈 14 的两个极限电感值  $L_{0,min,f2}$  和  $L_{0,max,f2}$ 。例如最小距离为 0.1mm，最大距离为 0.3mm。在图 5 中示出线圈 14 的电感 L 和由等式 1 求得的特征值 K 在距离 d 上的关系。如同由电感 7 或者说距离特性曲线 8 的走向看到的那样，电感或者说特征值对于最小的距离是最大的并且随着距离的增加持续减小。如果对于第二前测量距离 d 的数值为最大距离，则差值  $L_{0,d,f2} - L_{0,max,f2}$  自然消失并且特征值等于零。如果已经采纳过一次距离特性曲线，则它总是可以用于使特征值 K 转换成距离 d 的数值。尤其是在更换传感器 10 并由此更换线圈 14 时，如果在测量技术上重要的、几何的线圈尺寸只在某种极限以内不同，则无需采用新的距离特性曲线。如果是这种情况，则只进行用于获得  $L_{0,max,f2}$  和  $L_{0,min,f2}$  的测量并且存储数值。恒定的系数 A 可以是一个任意的正数，实际上 A 是 10 的倍数，例如 100。

接着使构件 17 在一个相应的涂覆设备中涂覆铬层。然后进行第三测量，即所谓的后测量，它在构件 17 的与上述前测量相同的位置上进行。在此必需这样实现测量装置，使得距离 d 对于前测量和后测量相同大小。在此产生测量线圈 14 的电感值  $L_{x,d,f1}$ ，其中第一下标“x”为要被确定的层厚 a 的数值，第二下标“d”为线圈体 13 与涂覆的构件 17 之间的距离，第三下标“f1”为加载在线圈 14 上的交流电频率 f1。电感值  $L_{x,d,f1}$  的大小例如由铬层的厚度并由构件 17 的材料特性确定。在此保证，两个所获得的电感值  $L_{0,d,f1}$  或者说  $L_{x,d,f1}$  分别明确地对应于同一构件 17。

现在将这两个电感值  $L_{0,d,f1}$  和  $L_{x,d,f1}$  借助于一个算法转换成一个标准值，即，转换成一个无量纲的特征值，它可对应于一个相应的层厚  $a$ 。这个标准值在这里称为测量值  $M_e$ 。为了可以实现这个标准值的形成，必需获得电感值  $L_{\infty,AB,f1}$  和  $L_{0,AB,f1}$  或者说已经测得并存储这些值。如果在一个测量对象上仅仅进行相对于一个铬层的测量，则得到电感值  $L_{\infty,AB,f1}$ ，其中线圈体 13 与测量对象之间的距离  $d$  的数值为  $AB$ 。在此测量对象的表面必需具有一个这样厚的铬层，它实际上屏蔽整个线圈 14 的磁场，由此在测量对象的铁磁基本材料中既不可能产生感应效应也不可能产生涡流效应。必要时对于测量对象在铬层的位置上也可以使用另一导电的但是不磁化的材料作为替换。如果仅仅相对于由铁磁材料制成的测量对象进行测量，则得到电感值  $L_{0,AB,f1}$ ，其中线圈体 13 与测量对象之间的距离  $d$  的数值为  $AB$ 。对于两个电感值  $L_{\infty,AB,f1}$  和  $L_{0,AB,f1}$  使用高频的交流电频率  $f1$ 。现在对应于等式 2 求得标准值或测量值  $M_e$ ：

$$M_e = B \cdot \frac{L_{x,d,f1} - L_{0,d,f1}}{L_{\infty,AB,f1} - L_{0,AB,f1}}, \quad (2)$$

其中

$L_{x,d,f1}$  = 后测量的电感值；

$L_{0,d,f1}$  = 第一前测量的电感值；

$L_{\infty,AB,f1}$  = 在只对由导电材料制成的测量对象测量时线圈 14 的电感值，其中线圈体 13 与测量对象之间的距离  $d$  的数值为  $AB$ ；

$L_{0,AB,f1}$  = 在只对由铁磁材料制成的测量对象测量时线圈 14 的电感值，其中线圈体 13 与测量对象之间的距离  $d$  的数值为  $AB$ ；

$B$  = 恒定的系数。

该恒定的系数  $B$  可以是一个任意的正数，实际上  $B$  是 10 的倍数，例如 1000。作为线圈体 13 与测量对象之间的距离  $d$  的可能数值  $AB$  可以选择线圈体 13 与测量对象之间的最小与最大距离的总和的一半数值。由实践中得出的典型数值为  $AB = 0.2\text{mm}$ 。通过这些具体的用于恒定系数  $B$  和  $AB$  的数值以及所测得的电感值按照上述的等式(2)与目前由现有技术已知的只具有一个调整曲线的测量方法相比获得多个调整曲线，它们分别适用于具体的相互间不同的距离  $d$ 。在此作为参数使用

距离。例如十二个调整曲线的总体形成一个在图 6 中示出的调整曲线束。每个单个的调整曲线代表一个确定的距离值并且对于这个距离值表示在标准值范围上的层厚  $a$  的走向。在将测量值  $M_e$  转换成层厚值  $a$  时当然选择那个调整曲线，其距离参数值具有与所求得的距离  $d$  的数值最小的偏差。在理想情况下最小偏差等于零。

这种测量方法可用于一与试件有关的一被测部件的电或磁性能足够恒定的场合。建议检验这种恒定性。

在电感交流电层厚测量时，测量设备必须这样设计，即在测量设备被接触或由于电磁耦合发生变化时（注意接地问题），测量信号不会由于电感或电容的耦合阻抗产生失真。是否形成相关的接触测量误差，取决于测量设备的结构形式和载波频率。其趋势为：载波频率越高，产生接触误差的危险越大（这个关系也适用于 DE 196 52 750 C2 和其他专利文献描述的测量方法，这些测量方法用相同物理基本原理工作）。

下面还要说明一点：不但测量仪和传感器的直接接触会导致测量误差，而且间接接触也会出现这种情况。间接接触的例子是：从测量仪到传感器的馈电电缆紧贴在一块金属板上或位于其附近。当接触这块金属板时就会导致测量误差，即使接触部位离电缆位置相当远。需要时必须用公知的方法防止这种测量误差的产生。

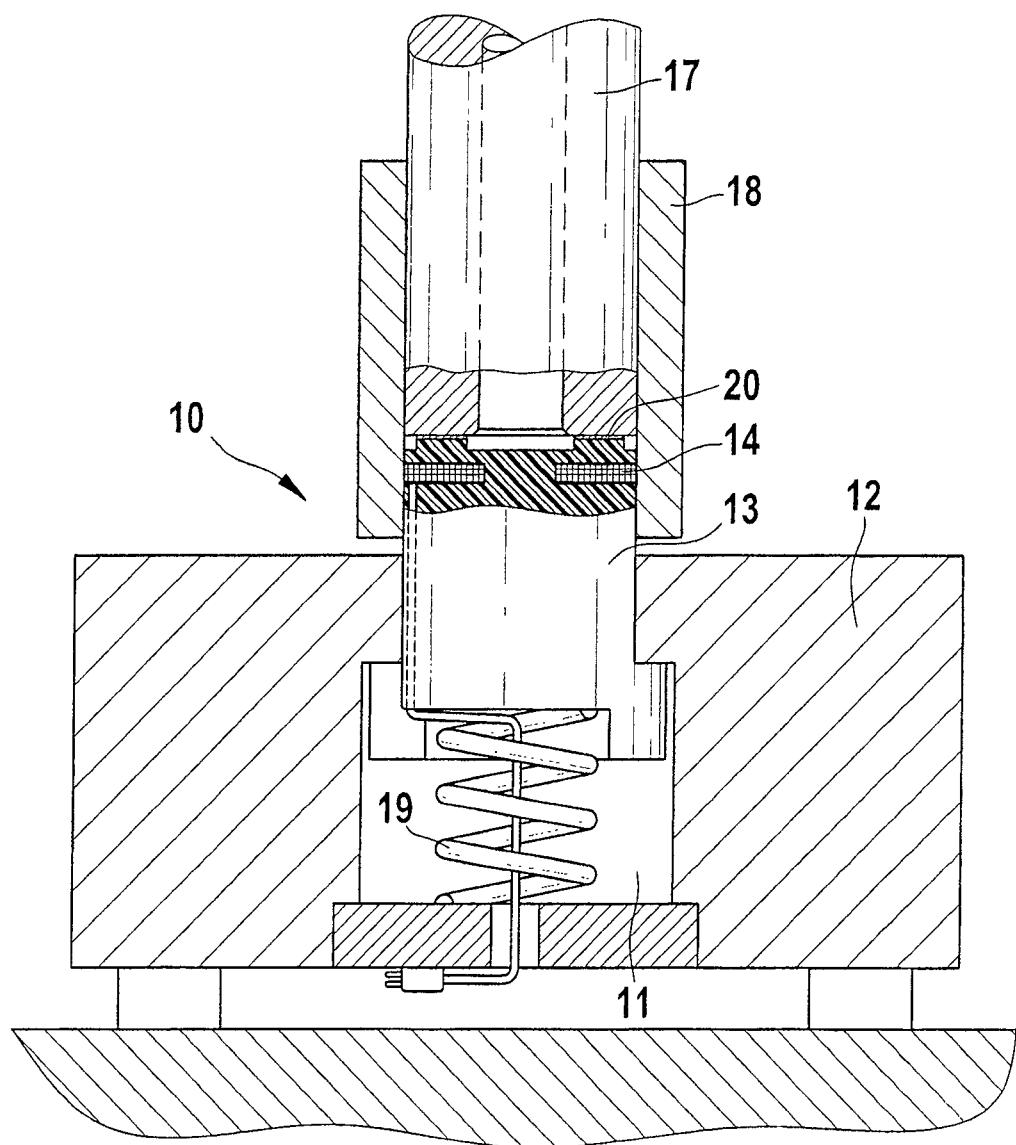


图 1

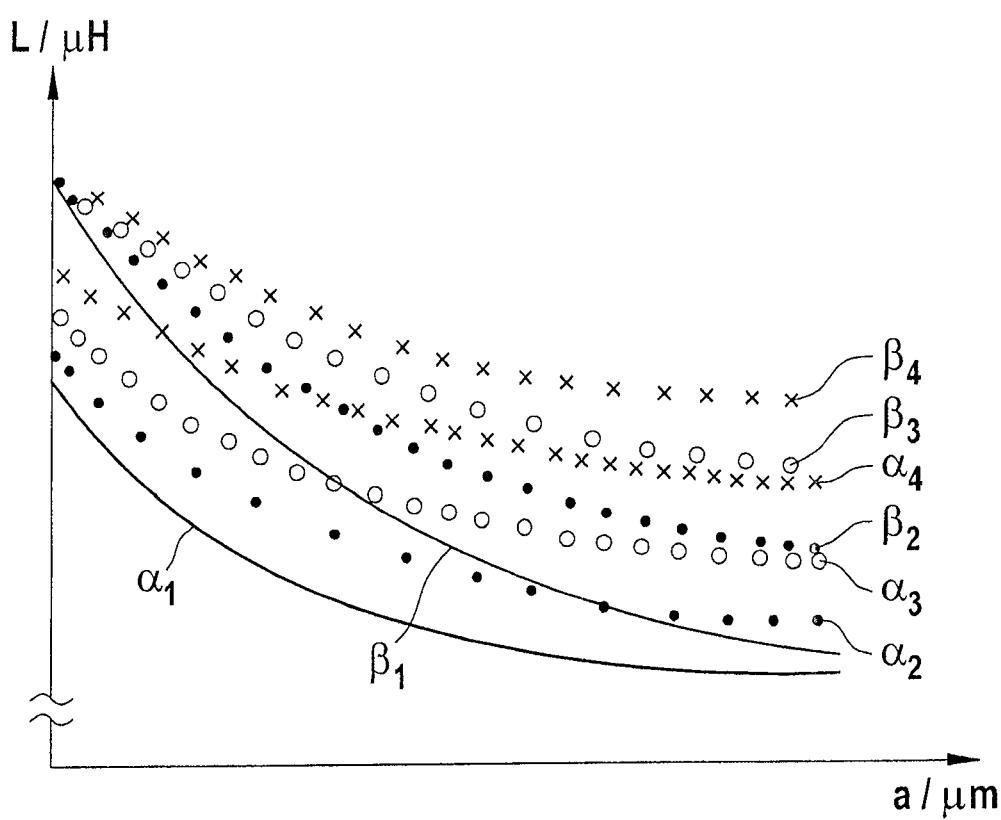


图 2

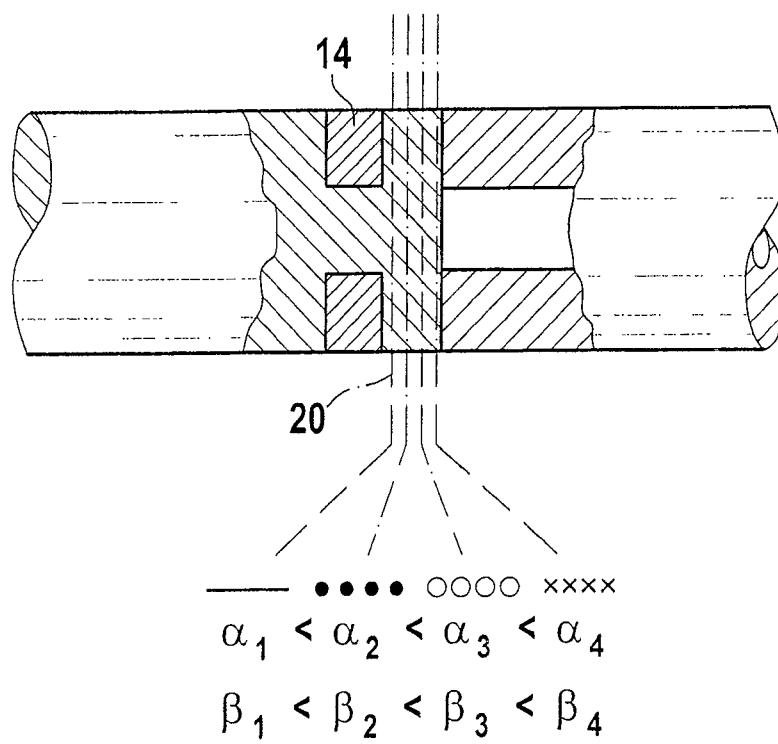


图 3

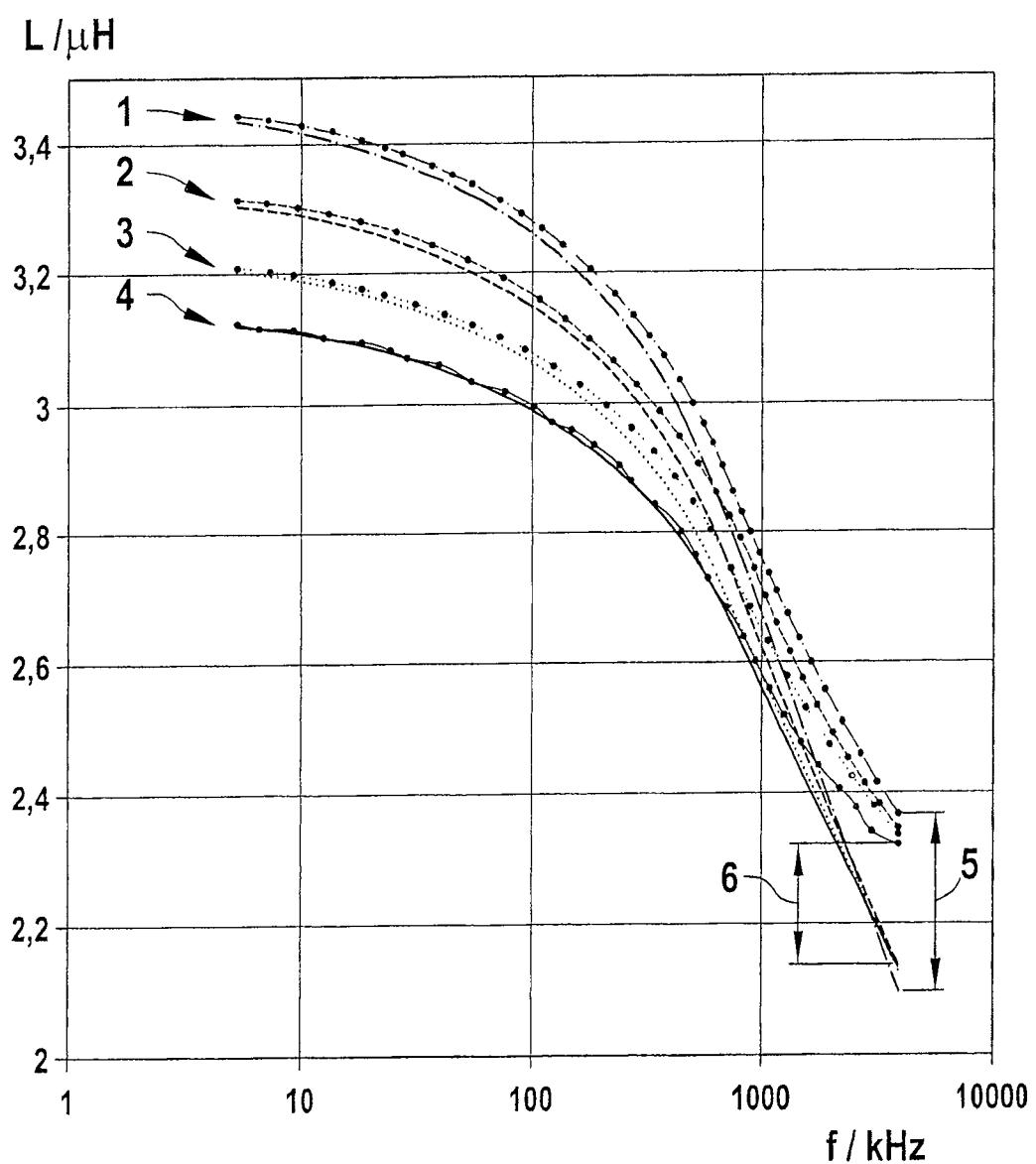


图 4

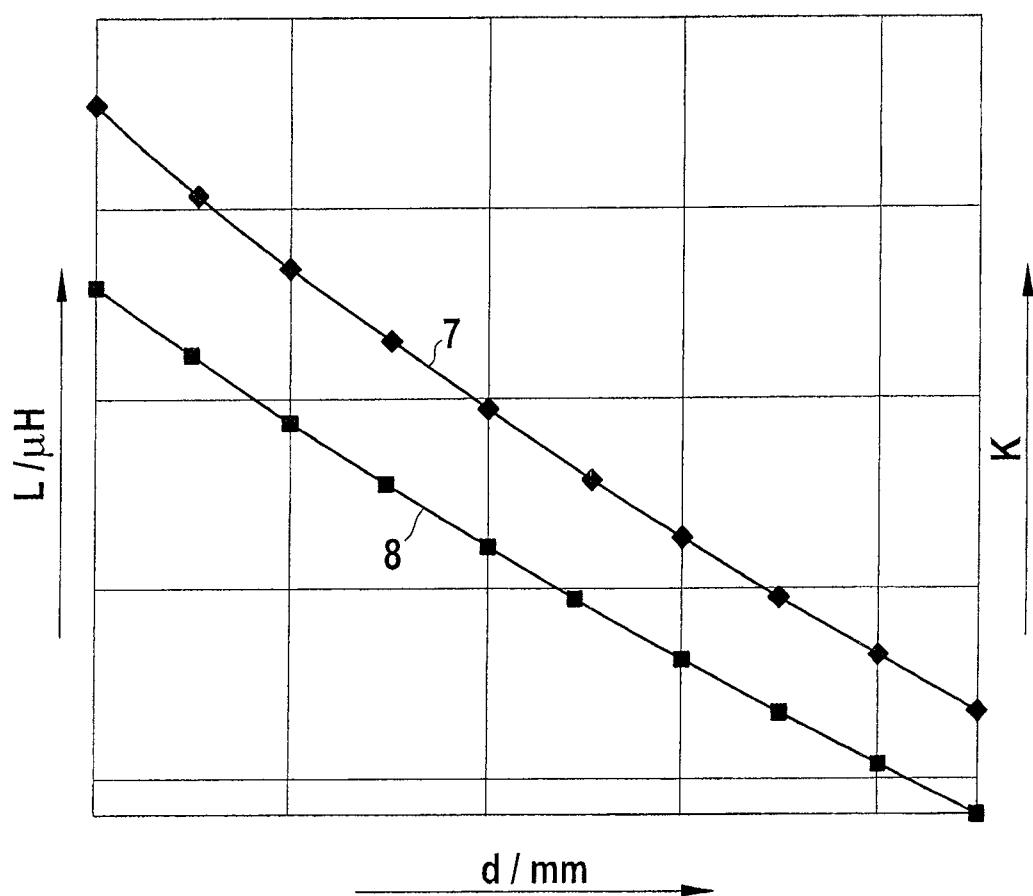


图 5

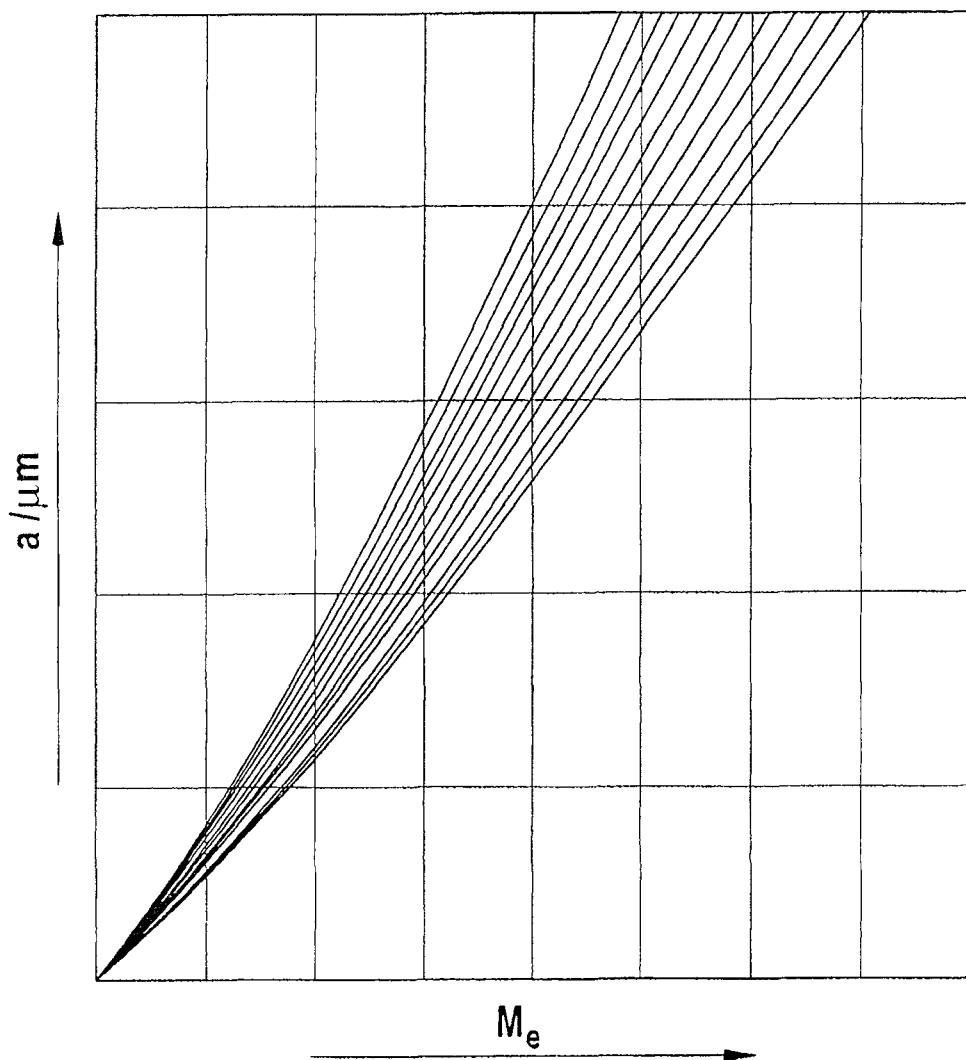


图 6