



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 91104552.X

[51]Int.Cl⁵

G01B 17/02

[45]授权公告日 1995年6月21日

[24]颁证日 95.4.14

[21]申请号 91104552.X

[22]申请日 91.6.7

[30]优先权

[32]90.6.8 [33]FR[31]9007187

[73]专利权人 法玛通公司

地址 法国库伯瓦

共同专利权人 科格马公司

科莱克迪弗·兹尔科图伯公司

G01B 7/10

[72]发明人 迪迪尔·迪斯卢利

G01N 29/10

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商

标事务所

代理人 付康

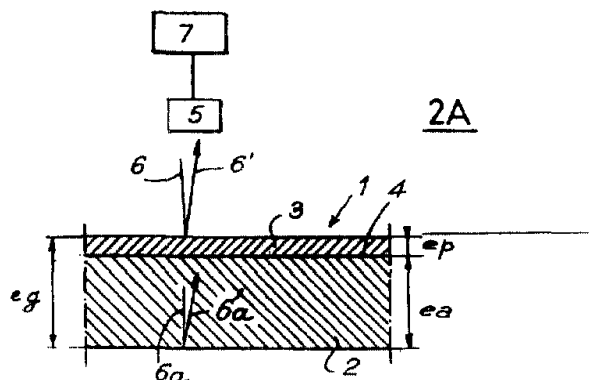
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 双层管厚度的检测方法与检测装置

[57]摘要

双层管(1)由管状芯体(2)和合金制成的包覆层(3)组成,包覆层合金的基体金属与构成管芯(2)的合金的基体金属相同。垂直入射的超声波射入管子(1)的包覆层(3)的厚度中及管芯(2)的厚度中;收集自管子内、外表面,自其结合面(4)和自结合面(4)处的任何连结缺陷反射的超声波;测量超声波沿着管子(1)的厚度传播的时间;确定反射波的幅值及形状。管子(1)自其外表面受到多频正弦电流引起的磁感应的作用,测量管(1)中所感应的电流相位和/或幅值,由此推得包覆层(3)的厚度。由测得的超声波传播时间及包覆层(3)的厚度算出管子(1)的总厚度;通过分析自结合面(4)反射的超声波或自包覆层(3)透射的超声波的幅值与形状来确定管子在结合面处的连结的情况。



权 利 要 求 书

1. 检测双层管(1,1')的厚度的方法,所述双层包括一个由锆合金这样的合金制成的管状芯体(2,2')并由罩层或包覆层(3,3')所复盖,制做包覆层的合金的基体金属与构成管芯(2,2')的合金的基体金属相同,其特征在于,对包围管子的圆周或沿其长度方向的各个检测区域连续或不连续地进行以下步骤:

—发射超声波,使其在管子包覆层(3)及管芯(2)中基本上沿着径向传播;

—收集自管子(1)内外表面,其管芯(2)与包覆层(3)之间的结合面(4)反射的超声波,或者由罩层或包覆层(3,3')透射的超声波;

—测量超声波沿管子(1)的厚度传播的时间;

—使管子(1,1')自其外表面受到由多频正弦电流产生的磁感应的作用;

—测量管(1,1')中被称作涡流的感应电流的位相和/或幅值;

—由此推得包覆层(3,3')的厚度;

—由测得的超声传播时间及包覆层(3,3')的厚度按下公式算出管子(1)的总厚度:

$$e_g = e_p + (\delta_t - e_p / V_p) \times V_n$$

式中 e_p 表示由涡流测得的罩层或包覆层厚度,

V_p 为超声波在包覆层或罩层中的速度,

V_0 则为超声波在构成管芯的材料中的速度,

δ_t 是超声波在整个包壳管厚度中的传播时间。

2. 按照权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 所用的超声波频率在 10MHz 到 20MHz 之间

3. 按照权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 多频正弦电电流有一个主频率, 这一频率应确定成当管子受到该多频正弦电流产生的磁感应作用时, 该频率对罩层或包覆层(3,3')的厚度变化灵敏度最佳, 而对与因气隙变化所引起的感应电流相对应的信号变化的灵敏度最低, 而且至少有一种辅助的次级频率, 它至少对构成管子(1, 1')的管芯(2, 2')或包覆层(3, 3')的合金当中一种的导电性变化是灵敏的, 而对管芯(2, 2')或包覆层(3, 3')的材料厚度的变化灵敏性极弱。

4. 按照权利要求 3 所述的方法, 其特征在于: 多频激磁信号有一个辅助的次级频率, 它对构成管芯(2, 2')及罩层或包覆层(3, 3')的合金导电性的平均变化是灵敏的, 同时对于管芯(2, 2')或包覆层(3, 3')的材料厚度变化灵敏性极弱。

5. 按照权利要求 3 所述的方法, 其特征在于: 多频激磁信号有两种辅助的次级频率, 其中的一种对构成管芯(2, 2')的合金导电性的变化灵敏, 而对构成罩层或包覆层(3, 3')的合金导电性的

变化以及管芯(2,2')及包覆层(3,3')厚度的变化灵敏性极弱,而其中的另一种只对构成包覆层或罩层(3,3')的合金导电性的变化灵敏。

6. 按照权利要求3所述的方法,其特征在于:多频信号有一个对气隙变化灵敏的辅助频率。

7. 检测双层管(1,1')厚度的装置,双层管包含一个例如由锆合金这样的合金制成的管状芯体(2,2'),并由罩层或包覆层(3,3')所复盖,制做包覆层的合金的基体金属与构成管芯(2,2')的合金的基体金属相同,其特征在于,它包括至少一个超声波转换器(5,40),至少一个与供给激磁电流的多频交流电流源(11,11')相连的感应线圈(10,14,15)还有装置(7,12)用来处理自转换器(5,40)接收的信号和与线圈(10,14,15)在管子(1,1')中感应的电流相对应的信号,并根据下列公式计算出双层管(1)的总厚度 e_g :

$$e_g = e_p + (\delta_t - e_p / V_p) \times V_a$$

式中 e_p 表示由涡流测得和罩层或包覆层厚度,

V_p 为超声波在包覆层或罩层中的速度,

V_a 则为超声波在构成管芯的材料中的速度,

δ_t 是超声波在整个包壳管厚度中的传播时间。

8. 按照权利要求7的所述的装置,其特征在于:激磁线圈(10)具有环绕着管子(1)的环圈,这些环圈顺次沿着管子(1)的轴向配置。

9. 按照权利要求 7 所述的装置, 其特征在于: 线圈(14)的轴基本上指向管子(1)的径向方向。

10. 按照权利要求 7 所述的装置, 其特征在于: 它包括多个线圈(15), 线圈绕组的轴指向管子(1)的径向, 并固定在环绕子(1)的支撑物(16)上彼此隔开的圆周位置上。

11. 按照权利要求 7 至 10 任一项所述的装置, 其特征在于: 与管子(1)相关联的机械装置用以确保管子(1)沿其轴向相对于线圈(10,14,15)移动。

12. 按照权利要求 7 所述的装置, 其特征在于: 转换器(40)包括一个形状为圆柱的一部分的聚焦透镜, 用来将超声波束聚焦于长方形焦点(42)处, 这个长方形焦点的纵向轴与管子(1)的轴平行。

双层管厚度的检测方法与检测装置

本发明涉及双层管，尤其是水冷堆中作为燃料棒包壳部分的锆合金双层管的厚度及其结合面连结情况的检测方法与检测装置。

水冷堆，特别是压水堆的燃料组件为一插有燃料棒的格架结构。燃料棒有一燃料包壳，将烧结成芯块的核燃料，如氧化铀或氧化钚封装起来。

由锆合金制成的燃料包壳在包壳外面一次循环液体的作用下需具有良好的抗腐蚀性。

通常使用主要含有锡和铁的锆基合金制造水冷堆燃料组件的燃料棒包壳。

为改善核反应堆运行时，燃料棒包壳在辐射条件下的腐蚀稳定性，以提高堆芯的燃料组件寿命，曾建议改变或者调整锆合金的成分，也曾提出以含诸如钒、铌或铜的锆合金来代替那些含锡、铁以及铬的锆合金。

以欧洲专利申请EP-A-0, 212, 351做为例子，还曾提出过把燃料棒包壳做成双层管型，它包括一个像上面所说的那种通常的锆合金制的管状内芯和一个构成包覆层或罩子的表面层，后者用以改善燃料棒包壳的腐蚀稳定性。

构成包覆层或罩层的锆合金与组成管芯的锆合金不同，它含有铁，还含有钒、钼以及铜当中的至少一种元素。这个表面层的厚度相当于燃料包壳壁总厚度的 5 ~ 20 %。可以通过对坯料挤压成形来制作它；坯料含有由常规成分锆合金做的内管，上面密接着具有表面层成分的外管。

然后，将该包壳放在周期式多级轧机上辊轧，直至达到最后的直径。

最近，由FRAMATOME, COGEMA, CEZUS 和 ZIRCOTUBE 等公司联合提出的法国专利申请FR-A-89-00761 中提出了一种双层管，其表面层在包壳壁总厚度的 10 ~ 25 %之间，系由含锡、铁以及铌或者钒的锆基合金组成。这种双层管的管芯用制作燃料棒包壳的常规锆合金制成，或者用主要以铌作为合金元素的锆基合金制作。

在各种情况下，均须确保这种做为燃料棒包壳的双层管的最佳质量，特别是关于管子的直径、包壳总厚度、外面包覆层的厚度以及包覆层与管芯间结合面的连结情况。

工厂里须对相当多数目的管子加以检测，管子的直径与其长度相比乃是非常小的。

可以用常规工艺来检测燃料包壳的直径及总厚度，这包括测量自管子外表面和内表面反射的脉冲形超声波在传播时间内的间距。

为了在计算燃料包壳总厚度时计及包覆层，可修改这种公知的脉冲一回波超声检测方法。

人们还建议把使用超声波的方法用于检测以锆合金为基础的双层管包覆层的厚度。

以 C E Z U S 公司名义提出的法国专利申请 F R - A - 2,629,586 中所描述的这种方法采用了一种适于测量较小层厚的超声波检测,其声学特性与厚度较大的管芯非常相近。

可是,这种改进的方法不能测量厚度小于 0.4 mm 的包覆层,因为这种方法的工业化程序要满足的条件需使用频率 20 MHz 的超声波。

在做为燃料包壳使用双层管的情况下,最常遇到的情况是其包覆层的厚度在 80 至 100 μ m 之间,就应该使用极高频率(如 100 MHz 量级)的超声波,这就使得在工业范围内使用此法极为困难。

此外,做为燃料棒的包壳,双层管的包覆层和管芯都由加进少量合金元素的锆基合金组成,它们有极为相近的声学特性,其结果是在包覆层与管芯结合面处声波的反射系数很小(通常小于 2%)。进而,结合面的反射波就很小,淹没于超声信号的声学噪声及电噪声之中。

F R - A - 2,534,015 中提出一种可以用来确定锆合金管上锆罩层厚度的测量方法及装置,它采用分析并测量该双层管的包覆层上的磁感应电流的办法,磁感应的激磁电流频率是做为管子包覆层的额定厚度的函数来选择的。

选择频率并调整感应电流相应的信号同样能在一定程度上消除由于激发线圈与管壁间气隙宽度的变化所造成的测量误差。

不过,要实现这一方法是较为复杂的,它不能补偿构成管芯的材料以及构成包覆层的材料导电性的变化。

此外,该法不能单独检测管子的总厚度以及管子包覆层与管芯之间结合面的连结情况。

因此,本发明的目的在于提供一种检测双层管厚度及其结合面连结情况的方法。这种双层管有一个由诸如锆合金制成的管芯,外面复盖着合金制成的包覆层或者罩层,这种合金的基体成分与构成管芯的合金的基体成分相同。本法可检测双层管的几何尺寸,特别是它的总厚度以及包覆层或者罩层的厚度,还能确定包覆层或罩层与管芯之间结合面连结方面的缺陷。

为此,须在包围管子的圆周或沿其长度方向的各个检测区域连续或者不连续地实施下述操作:

——发射超声波,使其在管子包覆层及管芯中基本上沿着径向传播;

——收集自管子内外表面、其管芯与包覆层间的结合面以及该结合面上的连结缺陷反射的超声波,或者自包覆层或罩层透射的超声波;

——测量超声波沿管子厚度传播的时间;

——确定反射波的幅值及形状;

——使管子自其外表面受到由多频正弦电流产生的磁感应的作用;

——测量管内被称作涡流的感应电流的位相和/或幅值;

——由此推得包覆层之厚度;

——由测得的超声波传播时间及包覆层厚度算出管子总厚度;

——通过分析自管子结合面反射的超声波或由包覆层透射的超声波的幅值及形状来确定管子结合面处的连结情况。

为了容易理解本发明,下面通过非限定性举例方式并参照所附的附图来描述有关本发明,特别是利用涡流来测量包覆层或罩层厚度的方法以及相应装置的几则实施例。

图 1 是要对其使用本发明方法的、作为燃料棒包壳部分的双层管局部分解视图；

图 2 A 为一双层管壁的截面图，表示一种由超声波在管壁中的传播时间来测其厚度的方法；

图 2 B 的图线给出自图 2 A 所示的管壁反射的超声波幅值与时间的函数关系；

图 3 A、3 B 及 3 C 表示由涡流来测量双层管包覆层厚度的三个实施例；

图 4 A 与 4 B、5 A 与 5 B 以及 6 A 与 6 B 是与图 2 A 及 2 B 相似的视图，它们对应于三种供选择的方案，分别表示由超声波来测定双层管的管芯与包覆层之间结合面的连结缺陷的三种方法；

图 7 A 与 7 B 以及图 8 A 与 8 B 是与图 2 A 及 2 B 相似的视图，分别表示根据本发明，用超声透射方法来确定双层管的金属管芯与包覆层或罩层之间结合面的缺陷的方法；

图 7 A 和 7 B 是关于管子的结合面无缺陷的区段的；

图 8 A 和 8 B 则是关于管子结合面有缺陷的区段，并通过超声波的透射以测定之；

图 9 为超声测定双层管结合面缺陷的装置透视图。

图 1 中以参考标号 1 指示一双层管，它包括一个锆合金制的管状芯体 2，该芯外面复盖有由第二种锆合金制成的包覆层 3，第二种锆合金的成分与构成管芯 2 的合金成分不同。

构成双层管 1 的管芯 2 及包覆层 3 的锆合金均为低合金成分的锆合金，其中各种合金元素的重量均低于 1 %。

因此，管芯 2 和包覆层 3 具有彼此极相近的声学特性。此外，包覆层或者罩层 3 的厚度很小，通常在 $60 \sim 80 \mu\text{m}$ 之间，金属芯 2 本身的厚度略小于 $600 \mu\text{m}$ 。

如图 1 所示的那种作为压水堆燃料组件的燃料棒包壳用的双层管，其外径通常为 10 mm 量级，长度为 4 m 量级。

图 2 A 表示的是如图 1 所示的双层管壁的截面，它包括一个由包覆层复盖的管芯 2，包覆层以柱形结合面 4 与金属芯相连结。

为了测量由管芯 2 和包覆层 3 组成的燃料包壳壁的总厚度，使用超声发射器 5 沿双层管外表面方向发射一束超声波 6，所说的双层管有包覆层 3 为其外表面。

管子 1 浸于由液体组成的耦合介质中，这种液体可使自发射器 5 发出的超声波在其中传播。

部分超声波束 6 被双层管外表面反射，形成波束 6'，它由发射器 5 收集并转换成电信号，送到处理单元 7。

对应的反射波 8 可表示于波形图上，该波形图给出反射波幅值及其位置对时间标度的关系。

通过双层管壁传播的超声波束 6 a 自该管管芯 2 的内表面反射，形成波束 6' a。

发射器 5 收集超声波束 6' a，转换成电信号，靠处理单元 7 可将其以反射信号 8 a 形式表示成图 2 B 中的波形图。

信号 8 与信号 8 a 间的时间滞后对应于两倍的时间 δT ， δT 为超声波穿过管 1 的壁所用的时间。

假设超声波在燃料包壳的金属芯中的传播速度与其在包覆层中的

传播速度相同，就能得到与该双层管壁厚相应的燃料包壳总厚度 e_a 的近似值。

这种确定方法只是近似的。包覆材料中纵向超声波的传播速度 V_p ，并不等于超声波在构成双层管管芯的材料中的传播速度 V_a 。

另一方面，由于构成包覆层及管芯的材料声学特性彼此十分相近，所以包覆层 3 与管芯 2 之间的结合面的声波反射系数非常小（通常小于 2 %），直接测量超声波传播时间的方法并不能测出包覆层的厚度 e_p 。

此外，与壁的总厚度相比，包覆层的厚度很小，结果，所考虑的那个传播时间的差就是非常小的。

图 3 A、3 B 和 3 C 中表示了三种不同的涡流装置实施例，它们可以测量金属管芯包上一层包覆层组成的双层管 1 的外包覆层厚度，金属管芯及包覆层由两种锆合金构成，它们都含有非常少量的合金元素。

对于合金成分很低的合金来说，其合金测定的微小变异都会引起这种合金导电性方面极为明显的改变。

譬如，对于含锡的锆合金而言，其中锡成分 1 % 的变化就能引起其导电性有 50 % 量级的改变。

这种改变就使得可以利用感应电流或者涡流的方法来检测包覆层的厚度。其中包覆层的成分与由该包覆层所复盖着的金属管芯的成分不同。

这可以使用一个线圈 10。如图 3 A 所示，它是在管 1 周围绕有一定数目圈数而成的。

通过与线圈端部相联的电流源 1 1 给它提供一个多频正弦激磁电流。与感应电流对应的电信号由处理单元 1 2 来处理。

在这个利用涡流进行测量的装置的第一个实施例中，实际上测的包覆层的平均厚度值，它包含了管子周围厚度的可能的变化，或者管子圆周的变化。同样还包含着沿线圈 1 0 的整个长度管子厚度的变化，或说轴向变化。

根据这个道理，这种测量对于管子在成为涡流转换器的线圈中的定心也是灵敏的。以致于即使做了最佳的定心，也很可能降低测量的精度。

如图 3 B 所示的第二种测量方法中使用的线圈 1 4，其轴是关于管子 1 的径向方向的。

借助电流源 1 1'，由一多频正弦电流使线圈励磁，与感应电流对应的信号由处理单元 1 2' 来处理，这种处理按图 3 A 所示测量装置的情形相同的方法来进行。

图 3 B 所示的这种装置可对管子 1 的包覆层厚度做定域测量。

如图 3 C 所示，还可以使用多个与图 3 B 所示的线圈 1 4 相类似的线圈 1 5，它们固定在一个公用支撑物 1 6 上，各线圈 1 5 的轴都是沿着管 1 径向方向的，它们沿着圆周有规则地分布于该管周围。

这样就能在围绕管子圆周各点同时进行测量。

可以对管子表面进行扫描这一点也就很明显了。譬如可以像图 3 A 中箭号 1 3 所示的那样，沿着管子的轴向相对于涡流转换器移动该管。

确定正弦激磁信号的频率及绕组的尺寸（直径与高度），使得测

量包覆层厚度变化的灵敏度为最佳，并使由于线圈与管子表面之间的距离（形成一个气隙）的变化所引起的测量信号变化降至最小。

合理地选择这个频率，可明显降低这种气隙效应或“离地”（lift-off）效应，就像法国专利申请 F R - A - 2, 5 3 4, 0 15 所表示的那样。

为改善这种测量的质量，特别是为了考虑构成这种双层管管芯及包覆层的合金的导电性可能的变化（这种导电性对合金的成分很敏感），除使用上述主激磁频率，还使用一种或多种辅助频率，用以补偿同一根管子或同一批管子中的管子间，亦或是同一铸造过程中的管子成分的变化。

本发明方法的特征在于使用了具有主频率和多种次级频率的多频率正弦激磁信号。

尤其可以使用一种对构成管芯及包覆层的合金导电性平均变化灵敏的次级频率，该次级频率对于管芯及包覆层厚度的变化则为不灵敏或灵敏度很低。

也可以使用两种辅助频率，其中的一种对构成管芯的基体材料导电性的变化灵敏，同时又对包覆层导电性的变化以及管芯及包覆层厚度的变化的灵敏性极弱，而其中的另一种则只对包覆层导电性的变化灵敏。

还可以使用附加频率来测量并补偿那种“离地”效应。

用具有上面所说的各种确定频率的正弦信号同时激励变换器，并像上面所描述的那样，利用处理单元和数据处理设备对与各种确定频率正弦信号相对应的相位测量信号及幅值测量信号做数字化处理，就能

从这些信号导出包覆层的厚度值。

通过对与涡流对应的信号做位相分析，来达到对包覆层厚度的测量，这种方法的优点在于它对“离地”效应所致厚度变化的灵敏度较低。也可以通过对与涡流对应的信号做相位及幅值的联合分析测量包覆层厚度。

利用涡流测量包覆层厚度所用的装置一般包括：

——一个带多个涡流测头的检测头，它确保各测头在管子上的定位和管子的精确导向；

——检测头上至少装有一个涡流测头；

——一个多频正弦激磁电流源；

——驱动并准确地引导管子通过检测头的机械装置；

——用来校验管子直线送进并测定其轴向位置的高精度装置；

——获取涡流测量结果并对其做数字处理的装置。

得到由涡流测得的厚度 e_p 的精确值以及纵向超声波沿垂直于燃料包壳表面方向传播，穿过包壳全部厚度（如图 2 A 和 2 B 所示）所用的时间 δt 之后，就能得到该燃料包壳总厚度的精确值。

燃料包壳总厚度 e_s 由公式 $e_s = e_p + (\delta t - e_p / V_p) \times V_a$ 给出，式中的 e_p 表示由涡流测得的包覆层厚度， V_p 为纵向超声波在包覆层材料中的速度， V_a 则为该纵向超声波在管芯材料中的速度， δt 是该超声波在整个包壳厚度中的传播时间。

在这个表达式中， e_p / V_p 表示超声波通过包覆层材料所用的时间， $(\delta t - e_p / V_p)$ 表示该超声波通过管芯所用的时间， $(\delta t - e_p / V_p) \times V_a$ 表示管芯相对于该管的一个轴向位置的厚度，所说的

那个轴向位置最好借助检测轴向位置的装置来确定。

当然，只有在速度 V_p 和 V_s 明显地不同，使得在测量和计算管子厚度时能够得到有效的修正的情况下，上述计算才是正确的。

本发明的方法还可以确定包覆层与管芯间结合面处的连结缺陷（即缝隙）。

这种缝隙是一个厚度可以忽略并与管子表面平行的面。

所以，要用涡流来检测出这种缝隙将是很困难的。

尽管相对于包覆层的厚度（在 80 到 100 μm 之间）管子表面下的这种缝隙厚度很小，这给结合面处连结缺陷的检测造成困难，但超声检测技术能较好地适宜于此。

可以采用图 4 A，5 A 及 6 A 还有相应的图 4 B、5 B 及 6 B 的波形图所表示的公知的超声波反射探测方法。

这些反射探测方法的主要缺点在于需要使用极高频率，譬如超过 100 MHz 的超声波，这样的超声波在铝中的波长小于 50 μm 。

按照图 4 A 和 4 B 所表示的第一种反射探测方法，超声波基本上沿管子的径向发射，换句话说取基本垂直的入射。

图 4 A 中表示为 2 1 的超声波束被管子外表面反射，超声波束 2 2 由处于包覆层与管芯间结合面处的缝隙 2 0 反射，而波束 2 3 被管子内表面反射，图 4 B 表示的是对应的反射波 2 4、2 5 和 2 6。

由管子内表面反射的反射波信号 2 6 的幅度比由管子外表面反射的信号 2 4 的幅度小。这两个反射波之间的时间延迟对应于该超声波通过管子厚度所用时间的两倍。

反射波信号 2 5 与结合面 4 处一个缝隙 2 0 所反射的波相对应，

它的幅度也较小，而且由于包覆层 3 的厚度非常小，所以它与自管子外表面反射的信号相比的时间滞后就非常小。

该缝隙非常靠近管子外表面，并因此会使相应的反射波 2 5 与由于超声波的电增幅影响而具有较大时间宽度的反射波 2 4 相混，这些都使第一种检测方法受到限制。

图 5 A 和 5 B 所表示的第二种方法使用斜入射的超声波束 2 7，以致这束超声波先被管子内表面反射，之后由结合面处的缝隙 2 8 反射，并再次由管子内表面反射。

在这种情况下，与先由管子内表面反射，再由缝隙 2 8 反射，接着由管子内表面第二次反射所对应的反射波 2 9 与反射波 2 4 相比，具有明显的时间滞后。

类似地，反射波 2 9 与紧接着由管子内表面反射的反射波 2 9' 具有相同的较小幅度和时间宽度，所以很容易分开它们。

然而，这种方法实行起来却很困难，因为它与缝隙的性质有关，而且还须采取斜入射。

还必须使用发射器与接收器相分离的超声转换器。

图 6 A 和 6 B 表示的是第三种测量方法。

检测从管子内部进行，而且是沿垂直方向发射超声波束，为的是得到自缝隙 3 0 上的直接反射。

与自缝隙 3 0 的反射对应的反射波 3 1 跟自管子内表面反射的信号相比，具有较小的幅度和较大的时间滞后。

类似地，这个反射波 3 1 与紧接着由管子外表面反射产生的反射波 3 1' 具有相同的较小幅值及时间宽度，因此很容易被分开。

不过，这种探测方法难于在工业范围去实现，因为这种检测必须在半径很小长度却很大的管子里面去完成。

将这一方法用于工业规模，很难得到足够的检测速率。

此外，由于这种方法对于电的干扰很灵敏，所以极高频率的超声波不利于这种方法在工业范围内的使用。

图 7 A、7 B，8 A 和 8 B 表示一种利用超声波在构成燃料棒包壳的双层管壁内的透射来检测该双层管 1 的包覆层 3 与管芯 2 间结合面处的连结缺陷的方法，该超声波随后被管子内表面反射。图 7 A 中可以看到其中所涉及的管子或管子的一部分没有连结缺陷。

这时，图 7 B 所示的波形图有一底波 3 6，其幅度虽小于入射波的反射波 3 5 的幅度，但它是相当可观的。

这样，把这种方法用于一种声学材料，就会导致超声波在管子的包覆层 3 与管芯 2 间结合面处实质上的全部透射。事实上，结合面处的反射是可以忽略不计的，因为构成包覆层 3 和管芯 2 的材料声阻抗极为相近。

在双层管 1' 的包覆层 3' 与管芯 2' 间结合面 4' 处存在连结缺陷 3 7 这种地方（如图 8 A 所示），沿着与管子外表面实际上是垂直入射的超声波不能透过或仅有极少部分透过结合面 4' 处的连结缺陷 3 7。

由于在包覆层 3' 的厚度中连续反射而使超声波的能量被消耗掉。

这之后得到一个高度衰减的或是几乎不存在的底波 3 6'。

入射波的反射波 3 5' 被展宽并表现出超声波的能量因在包覆层中连续反射而耗散。

所以，这种方法很容易从具有连结缺陷的材料中区分出一种声学材料来。

使用一束超声波便可实现这种透射检测法。所用超声波的频率处在一种可使这种检测方法比起上述反射检测法较易实现的区间内。

譬如，该频率区间可在 10 MHz 到 20 MHz 之间。此外，可采用能量直入射的超声波转换器，这有助本法的易于实施。

实际上，这些条件都与目前所用的检测燃料棒包壳壁厚情况相符。

图 9 所表示的超声波转换器或者说超声波传感器 40 就能检测双层管 1 结合面处的连结缺陷。

传感器 40 被设计成可得到对超声波束 41 的最佳聚焦。

由于双层管 1 结合面处的连结缺陷是一条沿着与管轴平行的方向伸展的缝隙，而且是一与管子表面平行的面，所以需要得到一个长方形焦点 42，其纵向轴精确地指向与管轴平行的方向。该探测器聚焦透镜表面 43 呈圆柱形截面状，调节探测器的方位可获得聚焦点的最佳调节，使底波（图 7 B 中的 36）有最大幅值。

此外，该传感器必须具有较宽的通频带，这可通过高度衰减而得到。这样就能得到极窄的反射波，而且入射波的反射波（图 7 B 中的 35）很清楚地与底波（图 7 B 中的 36）分开。还能得到有关入射波的反射波（即图 8 B 中的反射波 35'）经诸如缝隙 37（图 8 A）那样的连结缺陷发生的时间展宽的极好显示。

传感器 40 装在一个未予示出的机械移动部件上，一方面它能够实现对传感器聚焦、将焦点相对于管轴排成一条直线以及诸如水这样

的耦合液体高度的精细调整，也就是说实现对传感器与管子间距离以及超声波束入射角的精调，另一方面它能引导管子沿其轴线方向准确地从超声波传感器 40 下方通过。

本发明以其各种实施例通过一齐使用超声检测技术和涡流检测技术，可简单、快速而且精确地检测双层管的厚度及其结合面的连结情况。

本发明的方法和装置很容易实现对大量的长度较长而直径较小管子的工业化实施。

显然，本发明并不限于所描述过的实施例。

因而，那些与所提到过的频率范围不同的超声波频率区间，以及凡是其形状、结构和尺寸能适合于对管子进行检测的转换器都是可以使用的。这些转换器或传感器可与任何类型的机械调节装置相配合。

管子可以通过任何类型的引导装置和驱动装置沿其纵向相对于传感器移动。

管子的位置，还有测量区域的位置可由任何适当的装置予精确地确定。

同样明显的是，本装置使用与所述涡流类型不同的涡流均可用于测量包覆层的厚度。

与超声检测传感器及涡流测量装置相配合的处理组件及数据处理装置均可由常规组件组成，它们对信号做数字化处理，计算厚度，以任何方式显示结果，还以容易辨认的形式表明缝隙的存在。

最后，本发明可用于对做为核反应堆燃料组件的燃料棒包壳部件用的双层管，或任何其它工业领域所用的双层管的检测。

类似地，这几种检测方法和装置用于管径及厚度较大的情况就尤为容易；其上限由用做测量包覆层厚度的涡流技术来决定，在上述锆合金的情况下，这一极限厚度通常约为 2 mm。

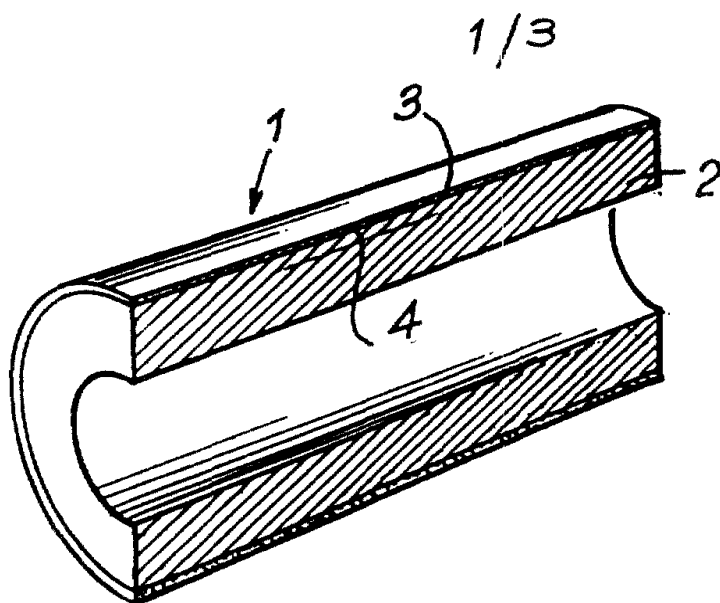


图 1

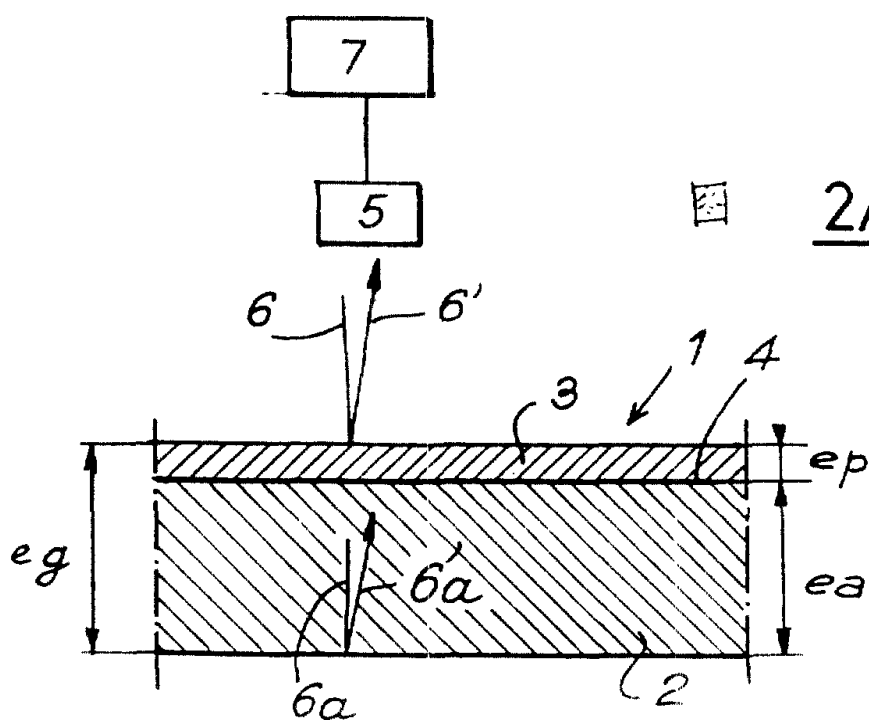


图 2A

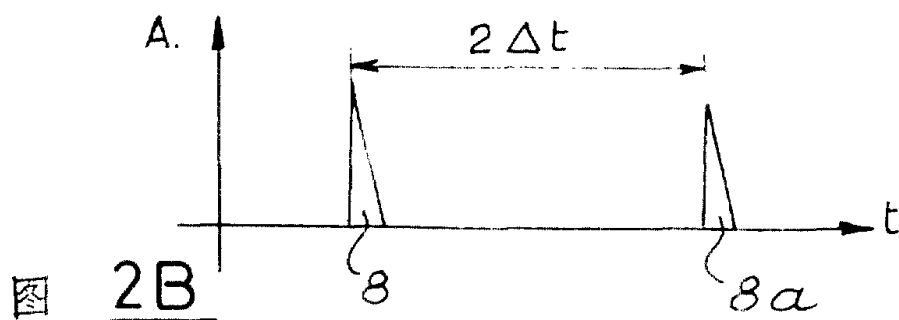
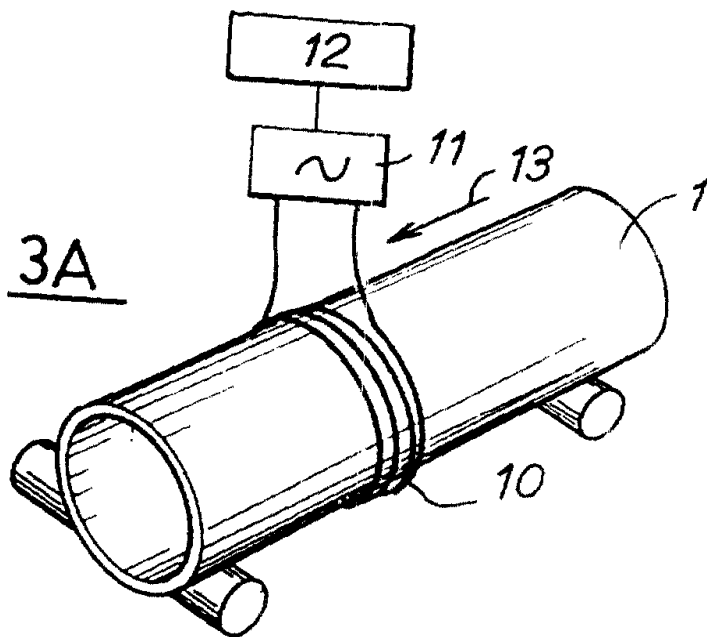


图 2B

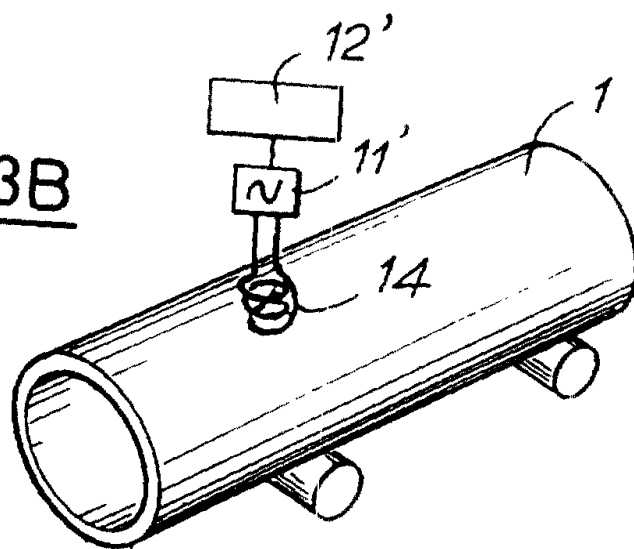
图

3A



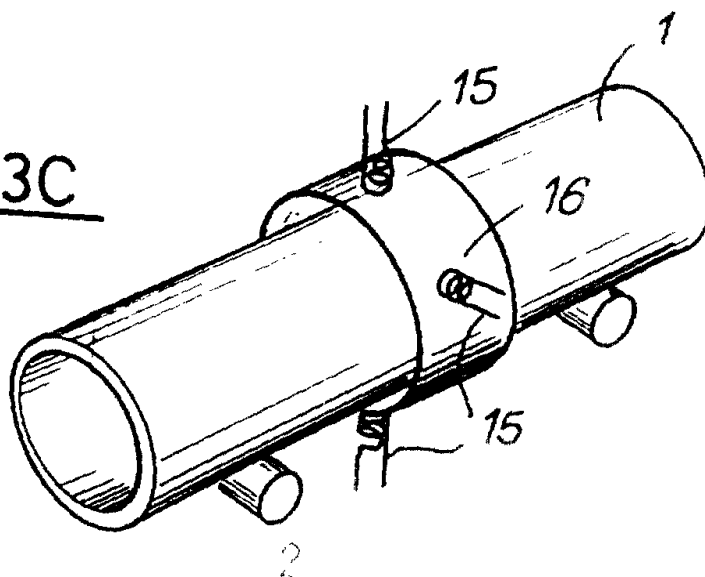
图

3B



图

3C



3/3

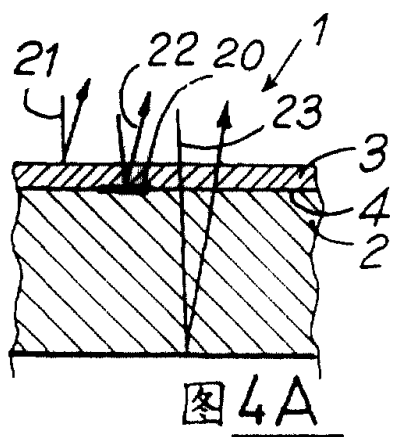


图 4A

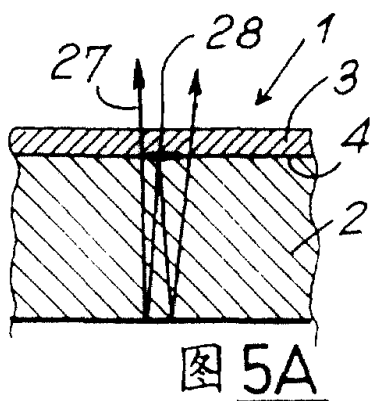


图 5A

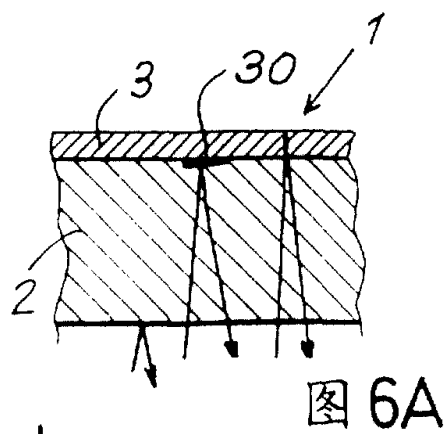


图 6A

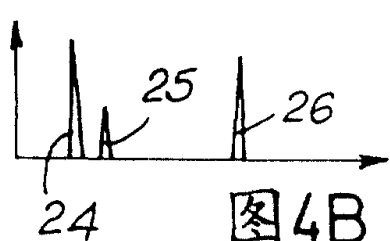


图 4B

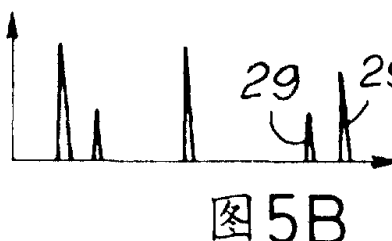


图 5B

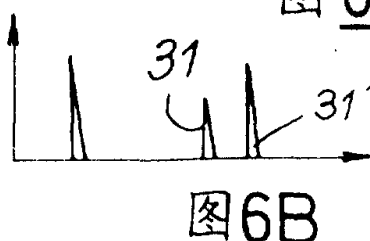


图 6B

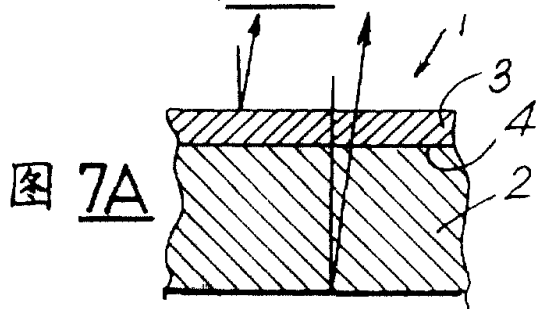


图 7A

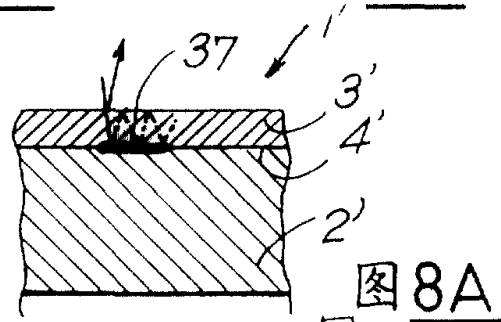


图 8A

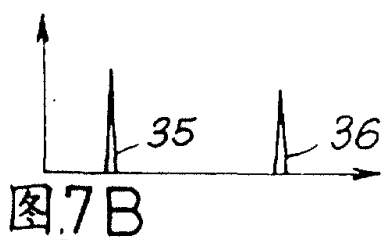


图 7B

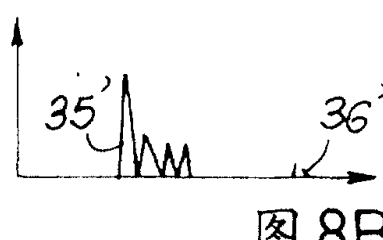


图 8B

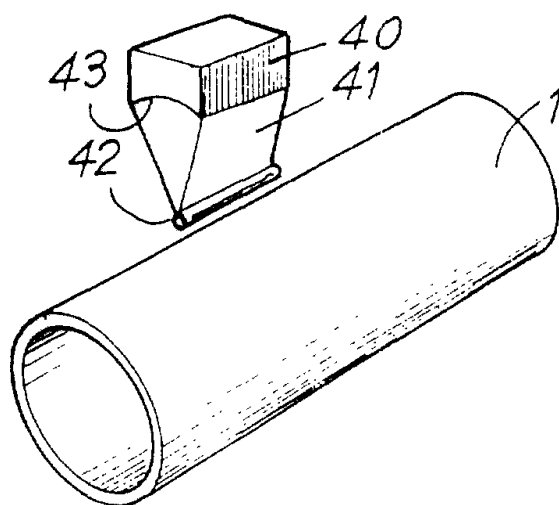


图 9