



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102759567 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 31

(21) 申请号 201210247289. 8

(22) 申请日 2012. 07. 18

(71) 申请人 南昌航空大学

地址 330000 江西省南昌市红谷滩新区丰和
南大道 696 号

申请人 武汉华宇一目检测装备有限公司

(72) 发明人 宋凯 康宜华 张丽攀 陈超
万本例

(74) 专利代理机构 南昌洪达专利事务所 36111
代理人 刘凌峰

(51) Int. Cl.

G01N 27/90 (2006. 01)

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别
及评价方法

(57) 摘要

一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法, 本发明公开了一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法。该方法采用穿过式直流磁化线圈对钢管进行非饱和磁化, 利用涡流检测线圈拾取缺陷处的电磁扰动信息, 依据相位对比选择合理的直流磁化范围, 从而检出内外壁缺陷并通过相位差异进行识别, 并通过分别设定内、外壁缺陷的报警阈值, 实现对相同损伤当量的内、外壁缺陷的一致性判定。检测装置必须包括相敏检波模块, 以消除缺陷泄漏磁场的干扰; 本发明方法检测速度快, 易于实现自动化, 可以适用于各种铁磁性管道的缺陷检测, 具有较广阔的应用前景。

1. 一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法,其特征在于涡流检测系统必须包括相敏检波的信号调理部分,该检测系统包括差动外穿过式涡流探头、平衡电桥、放大滤波调理、相敏检波模块和数据采集传输卡部分,相敏检波模块提取缺陷信息,消除缺陷泄漏磁场的扰动效应;所述方法还包括以下步骤:

1) 使用穿过式磁化线圈激发均匀静态磁化场,对有效磁化区内部的钢管实施轴向磁化,抑制钢管磁导率的波动;

2) 利用密排线圈作为涡流检测探头,线圈通有交流激励电流,在检测区域的钢管内部产生涡流场,涡流探头一般为两个且反向差动连接,且具有一定间距,与钢管同轴心布置,其内径比钢管外径略大,保证钢管行走通畅;

3) 涡流检测探头拾取待检钢管的缺陷处信息,把直流磁化下钢管缺陷处扰动涡流场引起的磁场信息转换为涡流阻抗电信号,经过放大滤波、相敏检波和 A/D 变换后送入计算机;

4) 所述计算机利用阻抗分析软件对所述的涡流阻抗信号进行分析。

2. 根据权利要求 1 所述的一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法,其特征在于:

(1) 涡流探头交流激励信号频率 f_{scr} :

根据待检钢管的行走速度确定涡流探头的激励信号频率,可利用公式(1)计算:

$$f_{scr} \geq 10 \times V \text{ (kHz)} \quad (1)$$

式中, V 为钢管行走速度,单位为米/秒;

(2) 直流磁化线圈的励磁电流 I :

以钢管内外壁相同参数的标准矩形槽为对比试样缺陷,调节直流磁化线圈的励磁电流 I ,并实施涡流检测,当信号相位差 $\Delta PHA = |PHA_{in} - PHA_{out}| = \pi/2$ 时,电流 I 记为 I_1 ;当信号幅值 $AMP_{in} = AMP_{out}$ 时,电流 I 记为 I_2 ;电流 I 可通过公式(2)确定:

$$I = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \quad (2)$$

(3) 涡流检测系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 :

当直流磁化线圈励磁电流 I 为 $I = \frac{(I_1 + I_2)}{2}$ 时,调整系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 ,可通过公式(3)确定:

$$PHA_0 = |PHA_{in0} - 90^\circ| \quad (3)$$

式中, PHA_{in0} 为当 PHA_0 为零时的内壁缺陷初始相位角,此时,内壁矩形槽信号的相位角 PHA_{in} 调整为 90° 。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法,其特征在于:

(1) 内、外壁缺陷信号区分

当待检钢管匀速通过直流磁化线圈及涡流探头时,计算机获得缺陷的阻抗信号,其内外壁缺陷可通过公式(4)~(5)判定;当公式(4)成立时,该信号为内壁缺陷的产生信号,当公式(5)成立时,该信号为外壁缺陷的产生信号;

$$|PHA_f - 90^\circ| < PHA_a \quad (4)$$

$$|PHA_f - 90^\circ| > PHA_b \quad (5)$$

式中,根据铁磁性材质的差异, PHA_a 为 $5 \sim 10^\circ$; PHA_b 为 30° ;

(2) 对内、外壁缺陷信号分别设置报警阈值 A_1 和 A_2 ,可实现相同损伤当量的内、外壁缺陷的判定,所述的涡流检测缺陷当量判定方法,其中 $A_1 > A_2$ 。

直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法。

背景技术

[0002] 涡流检测适用于导体材料的无损检测,在检测实践中应用广泛,最初主要针对非铁磁材料如铝、铜等材质的缺陷检测,缺陷深度与相位之间呈线性变化规律,但将该方法拓展应用于钢管探伤时,由于钢管表面磁导率波动引发涡流检测信号噪声,使缺陷信息被淹没而无法对其进行探伤。一般通过施加饱和磁化场抑制材料磁导率波动,提高缺陷的信噪比。中国国家标准“钢管涡流探伤检验方法”(GB/T 7735-2004)和机械行业标准“承压设备无损检测 第六部分:涡流检测”(GB/T 4730.6-2005)都涉及了此方法,但钢管外壁不同深度缺陷的信号相位基本一致造成相位失效,因此仅能利用幅值指标表征缺陷当量。然而,目前又发现在使用磁饱和法时钢管内壁缺陷也被涡流探头所检出,并且其相位与外壁缺陷仍一致造成信号混叠,从而使得对钢管内外壁缺陷评价成为技术难题。

[0003] 中国专利文献公开了一种“基于交直流复合磁化的漏磁检测内外壁缺陷的识别方法”,该方法涉及了一种钢管内外壁缺陷区分的漏磁检测技术,主要是同时施加直流与交流励磁磁场磁化钢管,利用外壁缺陷仅对直流信号分量有响应,内壁缺陷则对交、直流信号分量均有响应,从而实现缺陷的区分识别,但该方法将传感器置于管壁内侧不方便快速探伤,此外传感器需要电磁屏蔽,屏蔽效果不好将可能产生误判。专利文献“一种基于远场涡流的管道内外壁缺陷检测装置”公开了另一种钢管内外壁缺陷的检测技术,它涉及一种远场涡流检测方法,利用多个磁阻器件完全覆盖管道周向,实现对管道内外壁全周范围内的缺陷检测,但该技术检测速度慢,且不能对钢管内外壁缺陷进行区分识别。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供了一种直流磁化下钢管内外壁缺陷的涡流检测识别及评价方法,它具有方法操作简单、检测速度快和可适用各类铁磁性材质的优点。

[0005] 本发明是这样来实现的,该方法包括如下步骤:

1、使用穿过式磁化线圈激发均匀静态磁化场,对有效磁化区内部的钢管实施轴向磁化,抑制钢管磁导率的波动;

2、利用密排线圈作为涡流检测探头,线圈通有交流激励电流,在检测区域的钢管内部产生涡流场,涡流探头一般为两个且反向差动连接,且具有一定间距,与钢管同轴心布置,其内径比钢管外径略大,保证钢管行走通畅;

3、涡流检测探头拾取待检钢管的缺陷处信息,把直流磁化下钢管缺陷处扰动涡流场引起的磁场信息转换为涡流阻抗电信号,经过放大、相敏检波和 A/D 变换后送入计算机;

4、所述计算机利用阻抗分析软件对所述的涡流阻抗信号进行分析,由于不同的磁化线圈直流励磁和涡流探头交流激励时,钢管内外壁的涡流检测信号幅值和相位均会产生变化,因此为能实现不同层次位置缺陷的识别,对检测实施参数按如下方法处理:

(1) 涡流探头交流激励信号频率 f_{scr} :

根据待检钢管的行走速度确定涡流探头的激励信号频率,可利用公式(1)计算:

$$f_{scr} \geq 10 \times V \quad (kHz) \quad (1)$$

式中, V 为钢管行走速度,单位为米/秒;

(2) 直流磁化线圈的励磁电流 I :

以钢管内外壁相同参数的标准矩形槽为对比试样缺陷,调节直流磁化线圈的励磁电流 I ,并实施涡流检测,当信号相位差 $\Delta PHA = |PHA_{in} - PHA_{out}| = \pi/2$ 时,电流 I 记为 I_1 ;当信号幅值 $AMP_{in} = AMP_{out}$ 时,电流 I 记为 I_2 ;电流 I 可通过公式(2)确定:

$$I = (I_1 + I_2) / 2 \quad (2)$$

(3) 涡流检测系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 :

当直流磁化线圈励磁电流 I 为 $I = (I_1 + I_2) / 2$ 时,调整系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 ,可通过公式(3)确定:

$$PHA_0 = |PHA_{in0} - 90^\circ| \quad (3)$$

式中, PHA_{in0} 为当 PHA_0 为零时的内壁缺陷初始相位角,此时,内壁矩形槽信号的相位角 PHA_{in} 调整为 90° 。

[0006] 5、利用相位和幅值比较法对内、外壁缺陷信号进行区分和评价:

(1) 内、外壁缺陷信号区分

当待检钢管匀速通过直流磁化线圈及涡流探头时,计算机获得缺陷的阻抗信号,其内外壁缺陷可通过公式(4)~(5)判定:当公式(4)成立时,该信号为内壁缺陷的产生信号,当公式(5)成立时,该信号为外壁缺陷的产生信号;

$$|PHA_f - 90^\circ| < PHA_a \quad (4)$$

$$|PHA_f - 90^\circ| > PHA_b \quad (5)$$

式中,根据铁磁性材质的差异, PHA_a 为 $5 \sim 10^\circ$; PHA_b 为 30° ;

(2) 对内、外壁缺陷信号分别设置报警阈值 A_1 和 A_2 ,可实现相同损伤当量的内、外壁缺陷的判定,所述的涡流检测缺陷当量判定方法,其中 $A_1 > A_2$ 。

[0007] 本发明的特征还在于,所述的涡流检测系统必须包括相敏检波的信号调理部分,该检测系统包括差动外穿过式涡流探头、平衡电桥、放大滤波调理、相敏检波模块和数据采集传输卡、计算机及信号处理软件部分。采用所述涡流检测系统的主要原因是由于实施直流磁化时缺陷处会产生泄漏磁场,涡流探头快速扫查通过缺陷后,不仅检测信号中含有缺陷信息,同时漏磁场也在探头中产生感应电动势,对检测结果造成干扰,使得产生误判。相

敏检波模块可提取缺陷信息,消除缺陷泄漏磁场的扰动效应。

[0008] 本发明提出的基于非饱和直流磁化的涡流检测区分识别钢管内外壁缺陷的方法,其实质是利用钢管的缺陷电导率和磁导率特性变化(外壁缺陷)共同作用或仅磁导率特性变化(内壁缺陷)作用于涡流检测信号,从而实施内外壁缺陷的区分识别。即使在磁饱和和直流磁化下,无论外壁缺陷还是内壁缺陷,在其边缘区域,磁导率仍处于非饱和状态,导致磁导率局部发生畸变,这一因素使得内壁缺陷被检出,且涡流检测信号的虚部分量远大于实部分量,从而阻抗图表现为相位基本一致,而无法区分识别。将直流磁化场减弱至非饱和磁化区,外壁缺陷受缺陷处电导率变化、缺陷边缘磁导率畸变和临近缺陷区均匀磁导率的共同作用,在不同的磁场强度下,三者的作用贡献会相对有不同程度的上升或下降,这样使涡流检测阻抗信号相位随之变化;而内壁缺陷仍仅有缺陷因磁化导致的不均匀磁导率扩散至外壁而被检出,因而保证其相位基本维持不动,从而在合适的非饱和磁化状态下可以检出内外壁缺陷,并实现区分识别。

[0009] 本发明提出的基于非饱和磁化直流磁化的涡流检测区分识别钢管内外壁缺陷的方法,采用直流磁化线圈激发静态磁场,实施涡流检测时先获得对比试样的内外壁缺陷的信号,根据相位对比选择合理的直流磁化范围,然后对待检钢管以相同检测工艺参数进行涡流检测,从而检出内外壁缺陷并通过相位差异进行识别。最后,通过分别设定内、外壁缺陷的阈值,实现对相同损伤当量的内、外壁缺陷的一致性判定。

[0010] 本发明提出的钢管涡流检测方法,突破了现有国家标准所述的“磁饱和法”无法识别内外壁缺陷的限制,避免了原仅有通过信号幅值的评价方法造成的相同损伤当量伤的非统一评判问题;同时,本发明方法检测成本低、检测速度快,易于实现自动化,并且由于考虑了不同铁磁材质的磁特性差异,可以适用于各种铁磁性管道的缺陷检测,具有较广阔的应用前景。

附图说明

[0011] 图 1 为磁饱和下钢管外壁缺陷涡流检测的常规均匀磁导率影响观点检测原理示意图 A。

[0012] 图 2 为磁饱和下钢管外壁缺陷涡流检测的常规均匀磁导率影响观点检测原理示意图 B。

[0013] 图 3 为磁饱和下钢管外壁缺陷磁导率仿真计算分布图 A。

[0014] 图 4 为磁饱和下钢管内壁缺陷磁导率仿真计算分布图 B。

[0015] 图 5 为磁饱和下钢管外壁缺陷涡流检测的磁特性影响检测原理示意图 A。

[0016] 图 6 为磁饱和下钢管内壁缺陷涡流检测的磁特性影响检测原理示意图 B。

[0017] 图 7 为磁饱和下钢管涡流检测内、外壁缺陷区分失效原理示意图。

[0018] 图 8 为本发明检测方法示意图。

[0019] 图 9 为本发明检测方法探头及信号调理结构示意图。

[0020] 图 10 为本发明检测探头结构及电桥连接示意图。

[0021] 图 11 为本发明检测宽度为 1mm、深度为 0.5mm 和 1mm 的内、外壁圆周刻槽(钢管壁厚为 6mm)时,涡流检测探头 3a、3b 在直流励磁安匝数为 11000 时的输出波形图。

[0022] 图 12 为本发明检测宽度为 1mm、深度为 0.5mm 和 1mm 的内、外壁圆周刻槽(钢管壁

厚为 6mm) 时, 涡流检测探头 3a、3b 在直流励磁安匝数为 10000 $A \cdot m$ 时的输出波形图。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图和实例对本发明作进一步详细说明。

[0024] 如图 1、2 所示, 钢管磁饱和法涡流检测时, 常规观点认为钢管 1 磁化后外壁缺陷 2 或内壁缺陷 2' 区域的磁导率为均匀分布, 因此根据涡流检测的趋肤深度计算公式 $\sigma = \frac{1}{\pi f \mu \delta}$ (式中, f 为激励信号频率; μ 为钢管磁导率; δ 为钢管电导率), 涡流探头 3 产生的涡流场 4 可渗透至外壁缺陷 2, 因此可以检出, 但厚壁钢管内壁缺陷 2' 因涡流场 4 无法渗透至该位置而无法检出。然而钢管 1 的磁导率仿真计算结果如图 3、4 所示表明, 即使直流磁化场 H1 使钢管 1 至饱和磁化, 其外壁缺陷 2 和内壁缺陷 2' 边缘区域磁导率仍为非饱和状态, 这种畸变的磁导率分布与常规观点不一致。

[0025] 如图 5、6 所示, 使用磁饱和法对钢管 1 实施涡流检测时, 对于外壁缺陷 2, 其涡流检测信号受到缺陷的缺口处电导率、磁导率变化以及缺陷临近区域磁导率的局部非均匀区 5 的共同影响, 从而实现缺陷的检出; 对于内壁缺陷 2', 尽管检测探头产生的涡流场 4 无法渗透至缺陷处, 但内壁缺陷 2' 因磁化引起的磁导率不均匀区 5' 已扩散至钢管 1 的外壁, 受此影响, 产生了涡流检测信号。

[0026] 由于磁化的充分, 对于外壁缺陷 2 而言, 起主导作用的因素为缺陷临近区域的局部非饱和区域 5, 而内壁缺陷 2' 仅为磁导率不均匀性区域 5' 作用, 因此导致涡流检测信号阻抗虚部远大于实部, 从而使信号相位趋于一致而无法分辨, 如图 7 的实际检测结果所示。因此通过减小直流磁化场 H1 的强度, 使外壁缺陷 2 引起涡流信号的 3 个作用因素的贡献当量发生改变, 从而获取区别于内壁缺陷 2' 的信号, 这样可在非饱和直流磁化场下检测并区别构件的内、外壁缺陷, 形成钢管 1 非饱和磁化的涡流检测方法。

[0027] 如图 8、9 和 10 所示, 本发明提出的非饱和磁化钢管涡流检测方法, 其主要实施步骤如下:

1) 使用穿过式磁化线圈 6 激发均匀静态磁化场, 线圈的安匝数在 2000 ~ 40000 之间选取, 对有效磁化区内部的钢管 1 实施轴向磁化;

2) 利用密排线圈作为涡流检测探头 3, 涡流探头一般为两个且反向差动连接, 线圈 3a 和 3b 通有交流激励电流, 线圈匝数在 30-100 匝内选择, 有一定间距, 与钢管 1 同轴心布置, 其内径比钢管 1 外径略大;

3) 涡流检测线圈 3a 和 3b 拾取待检钢管 1 的缺陷 2 或 2' 信息, 把直流磁化下钢管 1 缺陷处扰动涡流场 4 引起的磁场信息转换为涡流阻抗电信号, 可记录为 V_1 、 V_2 , 经过相敏检波 10 和 A/D 采集系统 13 送入计算机, 形成阻抗实部为横坐标、阻抗虚部为纵坐标的阻抗图;

4) 所述计算机利用阻抗分析软件对所述的涡流阻抗信号进行分析, 由于不同的磁化线圈 6 直流励磁和涡流探头 3 交流激励时, 钢管 1 缺陷的涡流检测信号幅值和相位均会产生变化, 因此为能实现不同层次位置缺陷的识别, 对检测实施参数按如下方法处理:

(1) 涡流探头交流激励信号频率 f_{vcr} :

根据待检钢管的行走速度确定涡流探头的激励信号频率, 可利用公式(1)计算:

$$f_{ECT} \geq 10 \times V \text{ (kHz)} \quad (1)$$

式中, V 为钢管行走速度, 单位为米 / 秒 ;

(2) 直流磁化线圈 6 的励磁电流 I :

以钢管 1 内外壁相同参数的标准矩形槽为对比试样缺陷, 调节直流磁化线圈 6 的励磁电流 I , 并实施涡流检测, 当信号相位差 $\Delta PHA = |PHA_n - PHA_{n0}| = \pi/2$ 时, 电流 I 记为 I_1 ; 当信号幅值 $AMP_n = AMP_{nmax}$ 时, 电流 I 记为 I_2 ; 电流 I 可通过公式 (2) 确定 :

$$I = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \quad (2)$$

(3) 涡流检测系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 :

当直流磁化线圈 6 励磁电流 I 为 $I = \frac{(I_1 + I_2)}{2}$ 时, 旋转相位调节模块 11, 调整系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 , 可通过公式 (3) 确定 :

$$PHA_0 = |PHA_{n0} - 90^\circ| \quad (3)$$

式中, PHA_{n0} 为当 PHA_0 为零时的内壁缺陷初始相位角, 此时, 内壁矩形槽信号的相位角 PHA_n 调整为 90° 。

[0028] 5) 利用相位和幅值比较法对内、外壁缺陷信号进行区分和评价 :

(1) 内、外壁缺陷信号区分

当待检钢管 1 匀速通过直流磁化线圈 6 及涡流探头 3 时, 外、内壁缺陷 2 和 2' 可通过公式 (4) ~ (5) 判定 : 当公式 (4) 成立时, 该信号为内壁缺陷 2' 的产生信号, 当公式 (5) 成立时, 该信号为外壁缺陷 2 的产生信号 ;

$$|PHA_f - 90^\circ| < PHA_a \quad (4)$$

$$|PHA_f - 90^\circ| > PHA_b \quad (5)$$

式中, 根据铁磁性材质的差异, PHA_a 为 $5 \sim 10^\circ$; PHA_b 为 30° ;

(2) 对外、内壁缺陷 2 和 2' 信号分别设置报警阈值 A_1 和 A_2 , 可实现相同损伤当量的外、内壁缺陷 2 和 2' 的判定, 所述的涡流检测缺陷当量判定方法中的 $A_1 > A_2$ 。

[0029] 本发明提供的非饱和磁化钢管涡流检测系统的探头与信号调理部分如图 10 所示, 主要包括穿过式涡流检测探头 3, 电桥 8, 信号第一级放大滤波模块 9, 相敏检波模块 10, 相位调节模块 11, 信号第二级放大滤波模块 12, A/D 数据采集系统 13 构成, 其中电桥 8 包括线圈 3a、3b、桥臂电阻 8a 和 8b。涡流检测探头 3 通过传感器固定安装板将其固定在穿过式线圈 6 上, 保证线圈与钢管同轴心。相敏检波模块 10 主要用于将探头含缺陷的电信息转换成阻抗实部和虚部信号, 同时也可滤除缺陷漏磁场信号造成的干扰。

[0030] 检测实例 : 对钢管 1 实施涡流检测时, 穿过式直流磁化线圈 6 施加一定强度的磁化

场,钢管 1 利用对滚轮 7 和 7' 可匀速通过磁化线圈 6 和涡流检测探头 3a 和 3b,计算机获得缺陷阻抗信息后,根据式 (1)-(3) 确定涡流探头交流激励信号频率 f_{ECF} 、直流磁化线圈的励磁电流 I 、涡流检测系统阻抗信号初始相位角 PHA_0 ,实现对钢管 1 的检测。检测涡流探头 3a 和 3b 如图 9 所示。

[0031] 实施检测时,钢管的运动速度为 0.5m/s,根据式 (1) 计算涡流探头激励信号频率 $f_{\text{ECF}} \geq 10 \times 0.5 = 5 \text{ kHz}$,因此可选择为 10kHz。对于 6mm 壁厚钢管的内、外壁宽度为 1mm、深度分别为 0.5mm 和 1mm 的圆周刻槽缺陷,当信号相位差 $\Delta PHA = |PHA_{\text{in}} - PHA_{\text{out}}| = \frac{\pi}{2}$ 时, I_1 为 13A;当信号幅值 $AMP_{\text{in}} = AMP_{\text{out}}$ 时, I_2 为 9A;电流 I 可通过公式 (2) 确定:

$$I = \frac{(I_1 + I_2)}{2} = \frac{(13 + 9)}{2} = 11A$$

直流磁化线圈匝数为 1000 匝,因此其安匝数为 11000 AT 。根据式 (3) 调节内壁刻槽缺陷的 PHA_{in} 为 90° ,此时 PHA_0 为 118° 。

[0032] 该检测条件下其涡流探头 3a 和 3b 拾取的检测信号波形如图 11 所示,信号记为 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 ,其信号对应相位记为 PHA_1 、 PHA_2 、 PHA_3 和 PHA_4 。

[0033] 对于 PHA_1 和 PHA_2 ,其信号的相位关系如下:

$$|PHA_1 - 90^\circ| < PHA_2$$

式中, PHA_2 为 10° 。

[0034] 因此满足公式 (4),说明该信号为内壁缺陷信号,与实际缺陷位置一致。

[0035] 对于 PHA_3 和 PHA_4 ,其信号的相位关系如下:

$$|PHA_3 - 90^\circ| > PHA_4$$

式中, PHA_4 为 30° 。

[0036] 因此满足公式 (5),说明该信号为外壁缺陷信号,与实际缺陷位置一致。

[0037] 进一步地,对不同深度的外壁缺陷或内壁缺陷信号的判断依据信号幅值进行,如图 11 所示,因此可涡流检测的阻抗信号区域中分别设置报警区,其中报警区内壁缺陷报警阈值 A_1 大于内壁缺陷报警阈值 A_2 ,可实现同参量内外壁缺陷的区分识别及评价。

[0038] 此外,当直流磁化线圈 6 的电流 I 为 10A 时,其安匝数为 10000 AT ,对应检测信号波形如图 12 所示,信号记为 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 和 Z_8 ,其信号对应相位记为 PHA_5 、 PHA_6 、 PHA_7 和 PHA_8 ,根据公式 (4) 和 (5) 判断, Z_5 和 Z_6 为内壁缺陷, Z_7 和 Z_8 为外壁缺陷,说明当励磁电流有小幅波动时,信号的判别仍然有效,不会影响信号的特性。

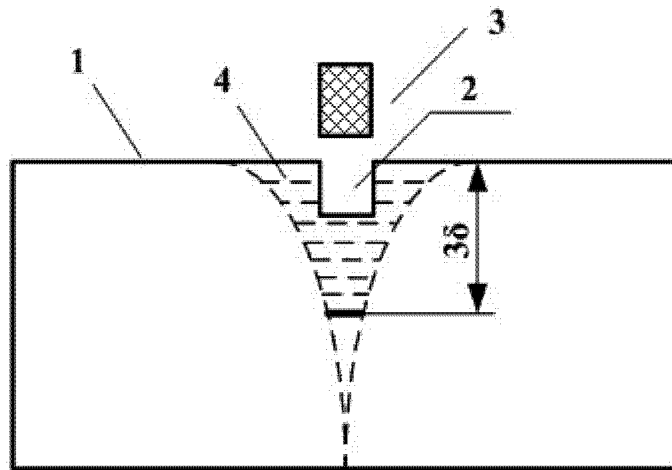


图 1

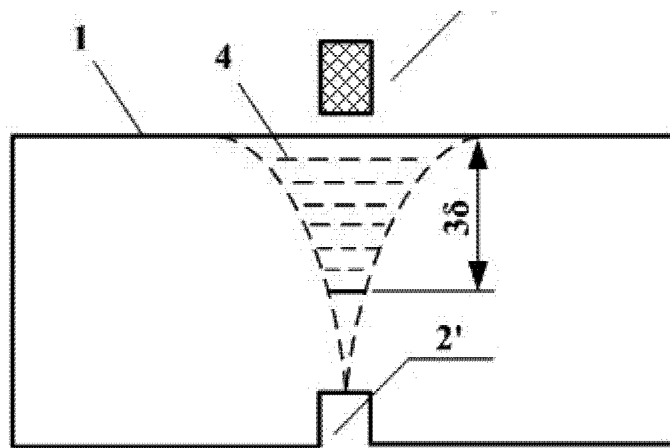


图 2

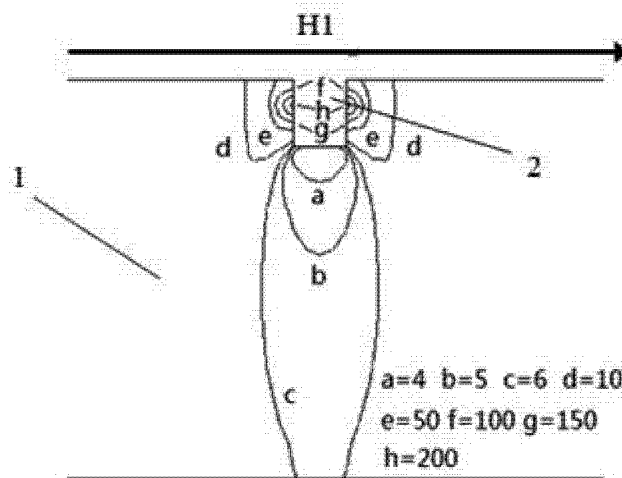


图 3

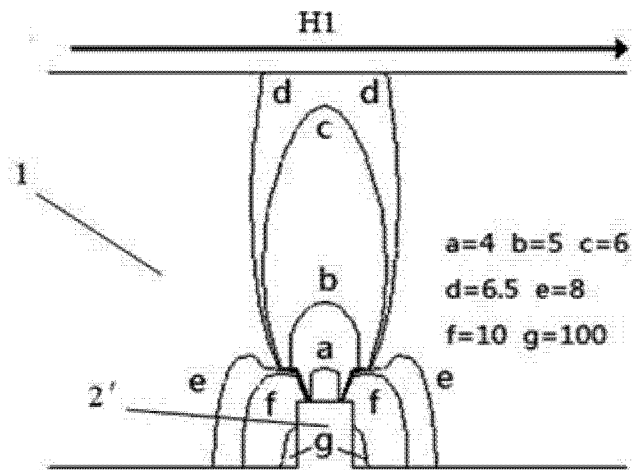


图 4

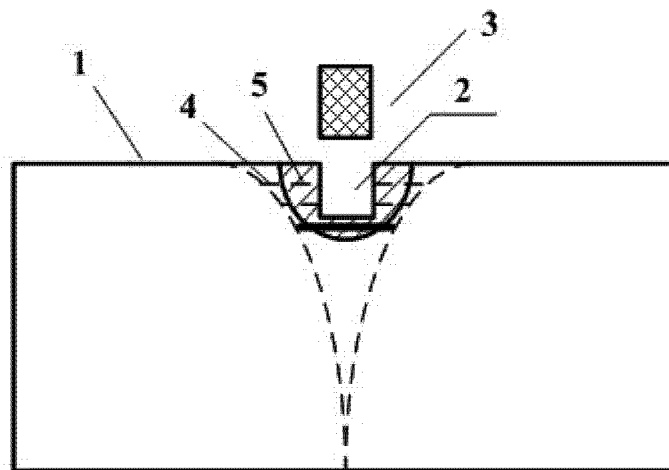


图 5

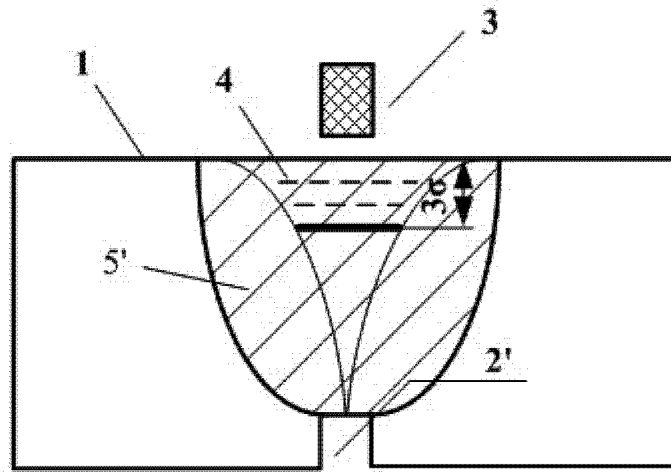


图 6

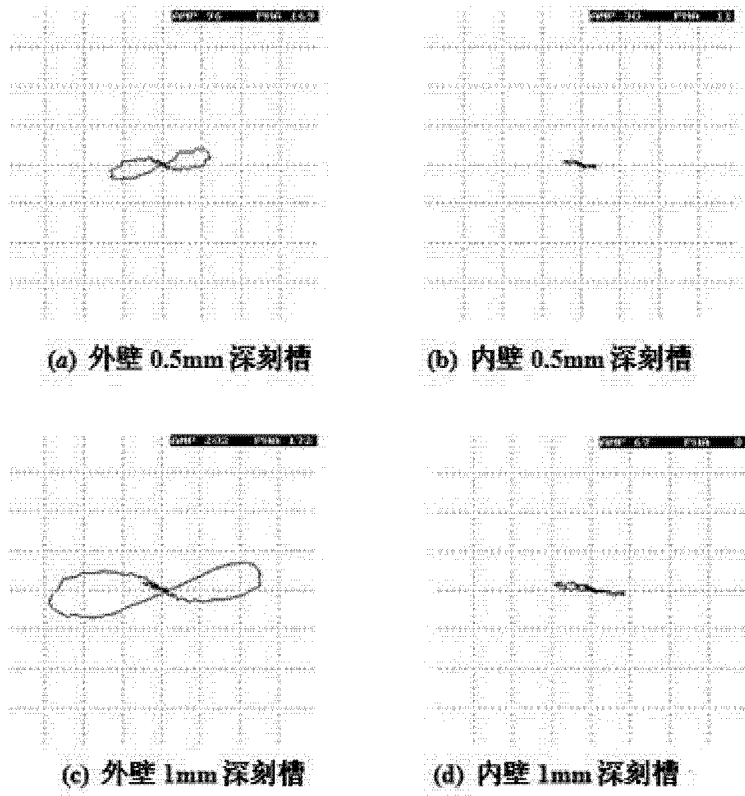


图 7

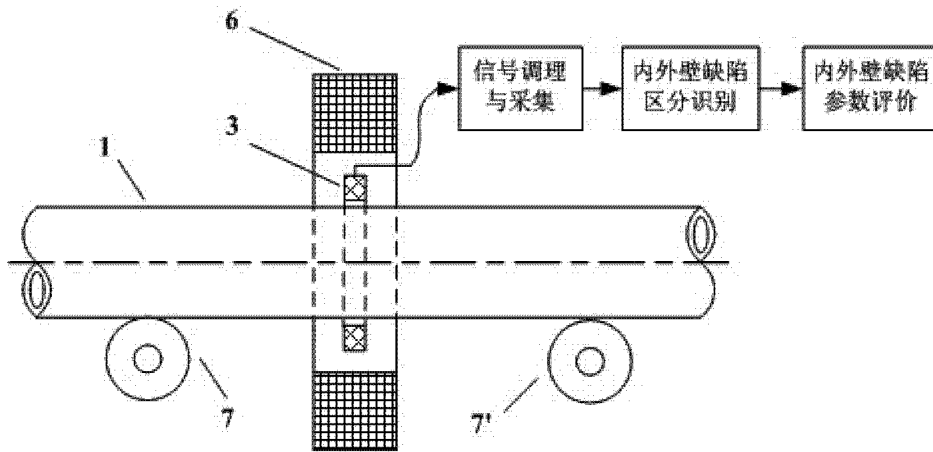


图 8

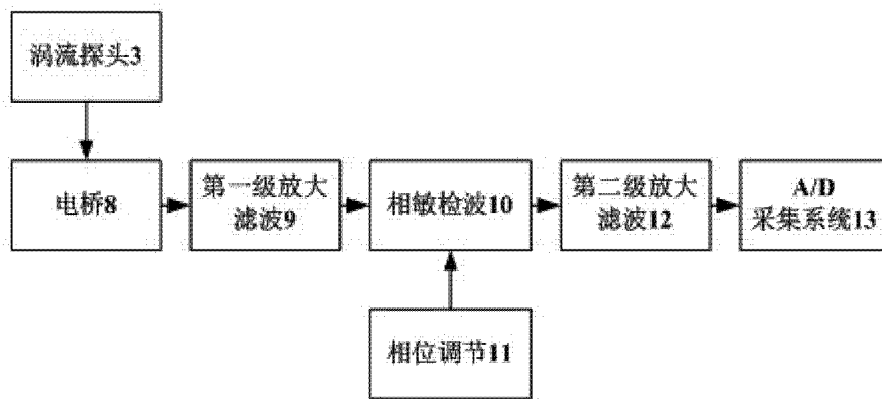


图 9

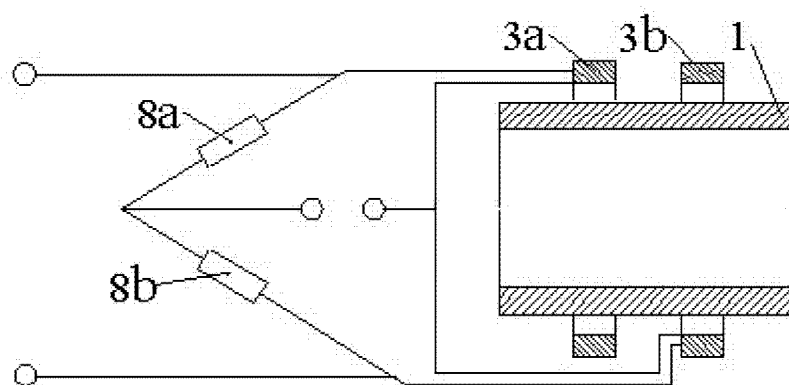


图 10

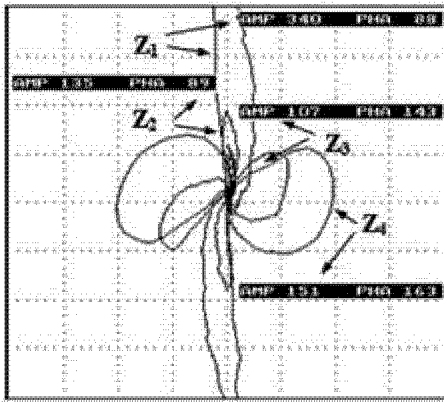


图 11

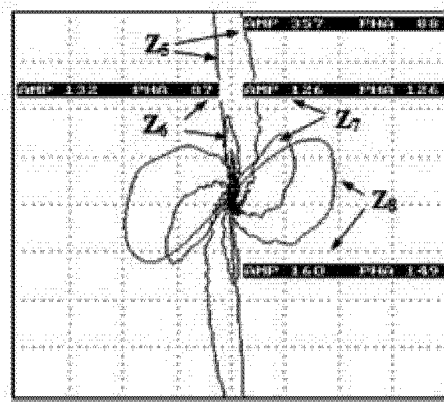


图 12