



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108802191 B

(45) 授权公告日 2021.04.23

(21) 申请号 201810628969.1

(22) 申请日 2018.06.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108802191 A

(43) 申请公布日 2018.11.13

(73) 专利权人 安徽工业大学

地址 243002 安徽省马鞍山市花山区湖东  
中路59号

(72) 发明人 钱健清 柯彤 邹军 石刚

(74) 专利代理机构 安徽知问律师事务所 34134

代理人 杜袁成

(51) Int.Cl.

G01N 29/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106370729 A, 2017.02.01

CN 102435673 A, 2012.05.02

CN 103969338 A, 2014.08.06

CN 105758934 A, 2016.07.13

CN 104792872 A, 2015.07.22

US 2004020297 A1, 2004.02.05

CN 104122334 A, 2014.10.29

陈尧. 锻钢超声波水浸探伤及三维成像技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程技术I辑》.2017, (第03期), 全文.

审查员 李婷

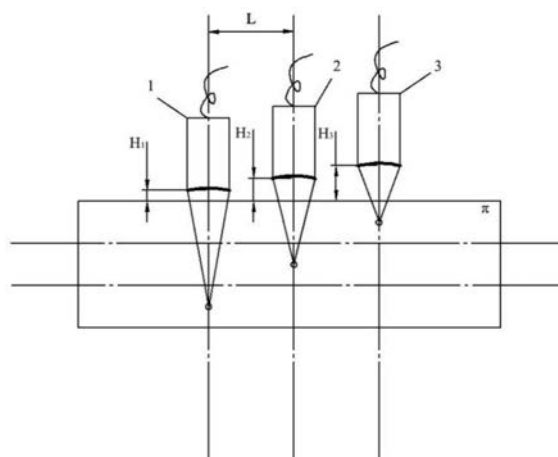
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法

(57) 摘要

本发明提供一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法,属于水浸超声无损检测技术领域。本发明中每个聚焦探头的水层厚度都不相同,通过夹具将聚焦探头固定在水浸超声波探伤仪上,通过软件控制多个聚焦探头一起移动,保证每个聚焦探头都能够将待测轧制钢材的扫查区域扫查一遍,并将每个聚焦探头的扫查结果分别在电脑上显示出来,然后综合各聚焦探头的扫查结果,可更准确分析出待测轧制钢材中是否存在缺陷,由于每个聚焦探头的聚焦点分布在待测轧制钢材的厚度方向上,聚焦点附近信号远强于声束的其他位置,因此通过本发明方法能够有效增强聚焦探头的扫查信号,使得检测结果更准确。



1. 一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

(1) 打开水浸超声波探伤仪的仪器开关,将水放入所述水浸超声波探伤仪的水池中,并将所述水浸超声波探伤仪的探头架移到待检测钢板的上方位置;

(2) 测量所述待检测钢板的长度a,宽度b,厚度 $\delta$ ,并记录下来;

(3) 将所述待检测钢板放入水浸超声波探伤仪的水池中,利用测平仪将所述待检测钢板调平,并将聚焦探头装在所述水浸超声波探伤仪的探头架上,根据所述待检测钢板的实际情况选取2个或3个聚焦探头组合,然后对所述待检测钢板进行检测;

(4) 将所述水浸超声波探伤仪的降噪参数和零点参数调零,调整显示范围,使得显示器能够显示工件底波,并将聚焦探头移动到所述待检测钢板上方,然后通过以下方法确定水层厚度:当利用两个聚焦探头来对钢板进行水浸超声检测时,水层厚度分别为:

$$H_1 = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{3\delta}{2}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

$$H_2 = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{\delta}{2}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

当利用3个聚焦探头对钢板进行水浸超声检测,第一聚焦探头1、第二聚焦探头2、第三聚焦探头3水层厚度的计算公式为:

$$H_n = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{(2n-1)\delta}{3}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

其中n为聚焦探头序号数1、2、3,通过公式数据叠加计算可得到聚焦探头个数与水层厚度之间的计算关系,根据公式关系计算出组合探头中每个聚焦探头的水层厚度;所述公式中: $\overline{OF}$ 为聚焦探头在水中的焦距; $\delta$ 为待检测钢板厚度,单位毫米(mm);d为晶片直径,单位毫米(mm); $H_n$ 为水层厚度,单位毫米(mm);

(5) 然后移动整个组合探头装置到所述待检测钢板左上方边界,将仪器工件选择为平面件,然后调整扫描范围,X轴的移动距离为待检测钢板长度a,Y轴的移动距离为待检测钢板宽度b,保证每个聚焦探头都能将待检测钢板扫描一遍;

(6) 观察扫描过程中的波形变化情况,综合每个聚焦探头的检测结果,得到最终的C型显示超声波探伤扫描图,然后分析检测结果。

## 一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于水浸超声无损检测技术领域，具体涉及一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法。

### 背景技术：

[0002] 超声无损检测技术始于20世纪30年代，自开发以来已经取得了飞速的发展，几乎应用到所有工业领域，在国内经济发展和建设中起着重大的作用。目前，超声无损检测技术是国内外无损检测技术中应用最广泛、使用频率最高且发展最快的一种。

[0003] 钢材超声波探伤是一种较常用的检测钢材质量的方法，相比于其他检测手段，超声波探伤有着很多优势，如：能够在不破坏工件的前提下进行检测、无污染、对人体无害、检测结果较准确、使用方便、速度快及便于现场检测等。水浸超声检测是超声波检测中的一种重要方法，利用水浸探伤可以避免工件检测过程中的盲区问题，而且通常情况下，表面比较粗糙的工件利用常规水磨法探伤时，检测效果往往很差，而水浸探伤却能够很好的适应此类工件的探伤。水浸超声检测方法还有着信号稳定、信噪比高、容易实现自动化等特点。但是，水浸超声检测的信号强度很弱，往往需要将衰减器增益调到很高才能发现工件中的缺陷回波，根据实验研究，当使用同种探头时，水浸超声检测的信号强度与水磨法信号强度相差20dB左右。所以水浸探伤中一般使用聚焦探头来增加信号强度，虽然此方法能够一定程度增加信号强度，但是由于聚焦探头的声束分布不均匀，导致实际检测效果并不是非常理想。

[0004] 为了提高水浸超声检测中的信号强度，合理的利用水浸聚焦探头的聚焦特性，在此发明了一种轧制钢材水浸探伤装置。此装置通过改变聚焦探头的聚焦点位置来增加水浸探伤的信号强度。利用此装置对轧制钢板进行水浸超声检测时，检测结果更加准确，同时也能够避免由于水浸探伤信号弱造成的漏检问题。此发明在钢材水浸超声检测中有着很好的效果。

### 发明内容：

[0005] 本发明的目的是提供一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法，该方法利用聚焦探头在聚焦点附近超声信号较强的原理，通过多个聚焦探头组合探伤来完成对待检测钢板的检测，从而使得水浸聚焦探头的检测信号强度得到一定程度的改善。

[0006] 当利用聚焦探头对一块待检测钢板进行水浸超声检测时，通常通过调节聚焦探头与钢板之间的水层厚度，使得聚焦探头在待检测钢板的聚焦点落在钢板厚度方向的正中心，这样得到的检测回波信号比较强。水浸探伤时，当聚焦探头发出的超声波垂直入射到待检测钢板的表面时，其声场如图1所示，其中P为待检测钢板中的焦点，F为水中的焦点， $\Sigma$ 为聚焦探头晶片波面，S为声轴线与待检测钢板上表面的焦点， $\pi$ 为待检测钢板表面。根据水浸聚焦探头的聚焦原理，当聚焦点在待检测钢板厚度方向中点时，可得到如下公式：

$$[0007] \quad \overline{SC} = \overline{SP} \cdot \tan \theta_2 = \frac{\delta}{2} \tan \theta_2$$

$$[0008] \quad \tan \theta_1 = \frac{\frac{d}{2}}{\overline{OF}} = \frac{\frac{d}{2} - \frac{\delta}{2} \tan \theta_2}{H}$$

[0009] 式中： $\overline{SC}$ 为最外层声束与钢板表面交点到声轴线的距离； $\overline{SP}$ 为待检测钢板中的焦点距上表面的距离； $\overline{OF}$ 为聚焦探头在水中的焦距； $\theta_1$ 为入射角度； $\theta_2$ 为折射角度； $\delta$ 为待检测钢板厚度，单位毫米（mm）； $d$ 为晶片直径，单位毫米（mm）； $H$ 为水层厚度，单位毫米（mm）。

[0010] 所以水层厚度 $H$ 为：

$$[0011] \quad H = \frac{\frac{d}{2} - \frac{\delta}{2} \tan \theta_2}{\frac{d}{2\overline{OF}}}$$

[0012] 聚焦探头发射的声束通过水钢界面射入钢中时会产生折射，利用声学原理可知：

$$[0013] \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

[0014] 式中： $c_1$ 与 $c_2$ 分别为水中声速与钢中声速，单位为米/秒（m/s）。

[0015] 由于晶片尺寸远远小于水中聚焦探头的焦距长度，可认为 $\sin \theta_1 \approx \tan \theta_1$ 。且水中声速与钢中声速之比为1/4。

[0016] 当利用一个聚焦探头对钢板水浸探伤时，如图1所示，根据上述公式可得到使用一个聚焦探头时的水层厚度 $H$ 为：

$$[0017] \quad H = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

[0018] 当利用两个聚焦探头来对钢板进行水浸超声检测时，如图2所示，根据上式可知第一聚焦探头1和第二聚焦探头2的水层厚度分别为：

$$[0019] \quad H_1 = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{3\delta}{2}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

$$[0020] \quad H_2 = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{\delta}{2}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

[0021] 当利用3个聚焦探头对钢板进行水浸超声检测，如图3所示，第一聚焦探头1、第二聚焦探头2、第三聚焦探头3的水层厚度的计算公式为：

$$[0022] \quad H_n = \overline{OF} \left( 1 - \frac{(2n-1)\delta}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

[0023] 其中n为聚焦探头序号数1、2、3通过公式数据叠加计算可得到聚焦探头个数与水层厚度之间的计算关系,根据公式关系计算出组合探头中每个聚焦探头的水层厚度。

[0024] 本发明所提供的一种轧制钢材缺陷的水浸超声波探伤方法的具体步骤如下:

[0025] S1:打开水浸超声波探伤仪的仪器开关,将水放入所述水浸超声波探伤仪的水池中,并将所述水浸超声波探伤仪的探头架移到待检测钢板的上方位置;

[0026] S2:测量待检测钢板的长度a,宽度b,厚度 $\delta$ ,并记录下来;

[0027] S3:将所述待检测钢板放入水浸超声波探伤仪的水池中,利用测平仪将所述待检测钢板调平,并将聚焦探头装在所述水浸超声波探伤仪的探头架上,根据所述待检测钢板的实际情况选取多个聚焦探头组合,然后对所述待检测钢板进行检测;

[0028] S4:将所述水浸超声波探伤仪的降噪参数和零点参数调零,调整显示范围,使得显示器中能够显示工件底波,并将聚焦探头移动到所述待检测钢板上方,然后通过以下方法确定水层厚度:当利用一个聚焦探头对钢板水浸探伤时,水层厚度H为:

$$[0029] \quad H = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

[0030] 当利用两个聚焦探头来对钢板进行水浸超声检测时,水层厚度分别为:

$$[0031] \quad H_1 = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{3\delta}{2}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

$$[0032] \quad H_2 = \overline{OF} \left( 1 - \frac{\frac{\delta}{2}}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

[0033] 当利用3个聚焦探头对钢板进行水浸超声检测,第一聚焦探头1、第二聚焦探头2、第三聚焦探头3水层厚度的计算公式为:

$$[0034] \quad H_n = \overline{OF} \left( 1 - \frac{(2n-1)\delta}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right)$$

[0035] 其中n为聚焦探头序号数1、2、3,通过公式数据叠加计算可得到聚焦探头个数与水层厚度之间的计算关系,根据公式关系计算出组合探头中每个聚焦探头的水层厚度;所述公式中: $\overline{OF}$ 为聚焦探头在水中的焦距; $\delta$ 为待检测钢板厚度,单位毫米(mm);d为晶片直径,

单位毫米(mm); $H_n$ 为水层厚度,单位毫米(mm);

[0036] S5:然后移动整个组合探头装置到待检测钢板左上方边界,将仪器工件选择为平面件,然后调整扫描范围,X轴的移动距离为待检测钢板长度a,Y轴的移动距离为待检测钢板宽度b,保证每个聚焦探头都能将待检测钢板扫描一遍;

[0037] S6:观察扫描过程中的波形变化情况,综合每个聚焦探头的检测结果,得到最终的C型显示超声波探伤扫描图,然后分析检测结果。

[0038] 本发明通过利用多个聚焦探头组合,每个聚焦探头的直径都为d,水中焦距为F,频率为f。并且每个聚焦探头的水层厚度都不相同,聚焦探头轴线之间的间距取L,然后通过夹具将聚焦探头固定在水浸探伤仪上,通过软件控制多个聚焦探头一起移动,保证每个聚焦探头都能够将工件的扫查区域扫查一遍,并将每个聚焦探头的扫查结果分别在电脑上显示出来。然后综合各聚焦探头的扫查结果,可更准确的分析出钢板中是否存在缺陷,由于每个聚焦探头的聚焦点分布在钢板厚度方向上,聚焦探头聚焦点附近信号远强于声束的其他位置,因此通过此方法能够有效增强聚焦探头的扫查信号,使得检测结果更准确。

#### 附图说明:

[0039] 图1:单聚焦探头在工件内部的聚焦声束图;

[0040] 图2:双聚焦探头在工件中的聚焦点分布图;

[0041] 图3:三聚焦探头在工件中的聚焦点分布图;

[0042] 图4:为对比实施例中单聚焦探头水浸检测的A型显示超声波探伤扫描图;

[0043] 图5:为本发明具体实施例中第一聚焦探头水浸检测的A型显示超声波探伤扫描图;

[0044] 图6:为本发明具体实施例中第二聚焦探头水浸检测的A型显示超声波探伤扫描图;

[0045] 图7:为本发明具体实施例中第三聚焦探头水浸检测的A型显示超声波探伤扫描图。

[0046] 图中:1:第一聚焦探头;2:第二聚焦探头;3:第三聚焦探头。

#### 具体实施方式:

[0047] 某公司生产的厚度为25mm的Q235轧制钢板,通过在线检测发现钢板某段存在缺陷,缺陷深度在18mm处。现将缺陷处切割制成 $100 \times 100 \times 25$ mm的试样,利用此发明中的实验装置对试样进行检测,并将其结果与传统单探头水浸检测方法对比,两种方法检测结果如下:

[0048] 通过单聚焦探头水浸检测,其水层距离一般调整到工件厚度的四分之一左右,这里使用水中焦距为80mm,频率为5MHz,晶片直径为14mm的水浸聚焦探头,水层厚度设置为7mm,通过扫描找到试样中的缺陷位置,当缺陷波高为满屏高度的80%时,仪器衰减器增益为53dB。得到A型显示超声波探伤扫描图如图4所示。

[0049] 利用此发明装置检测,同样采用水中焦距为80mm、频率为5MHz、晶片直径为14mm的水浸聚焦探头,利用三个聚焦探头组合探伤。实验采用的装置为ABCScan水浸超声检测仪,先将聚焦探头安装到检测仪上,计算三个聚焦探头的水层厚度,根据公式

$$H_n = \overline{OF} \left( 1 - \frac{(2n-1)\delta}{\sqrt{\frac{\overline{OF}^2}{4} - d^2}} \right) \text{ 计算结果, 并将三个聚焦探头的水层厚度分别调整为 } 64\text{mm}、33\text{mm}、$$

1.4mm, 设置水浸超声探伤仪的仪器参数, 并设置仪器扫描轨迹参数, 将X轴与Y轴方向的运动距离设置为100mm, 保证水浸探伤仪的扫描范围将试块表面完全覆盖。

[0050] 通过此实验, 找出试块中的缺陷, 移动聚焦探头位置, 分别得到三个聚焦探头的最强缺陷反射回波信号, 当仪器衰减器增益调到53dB时, 实验结果如图所示。图5、图6和图7分别为第一聚焦探头、第二聚焦探头和第三聚焦探头的A型显示超声波探伤扫描图。

[0051] 通过实验结果可知, 相同增益下, 三个聚焦探头显示的缺陷回波波高各不相同, 当缺陷波高都达到满屏高度的80%时, 三个聚焦探头显示的增益值分别为54dB、53.4dB、51dB, 因此可以选择信号最好的检测结果对缺陷进一步分析。而传统的单聚焦探头水浸探伤得到的结果如图4所示, 当缺陷波高达到满屏高度的80%时, 聚焦探头的增益值为53dB。由此可知, 通过此方法进行水浸探伤能够一定程度增加水浸探伤的信号强度, 实际能够增加1dB左右的信号强度, 这对超声波探伤结果有着很大的影响, 还能够一定程度避免缺陷漏检。

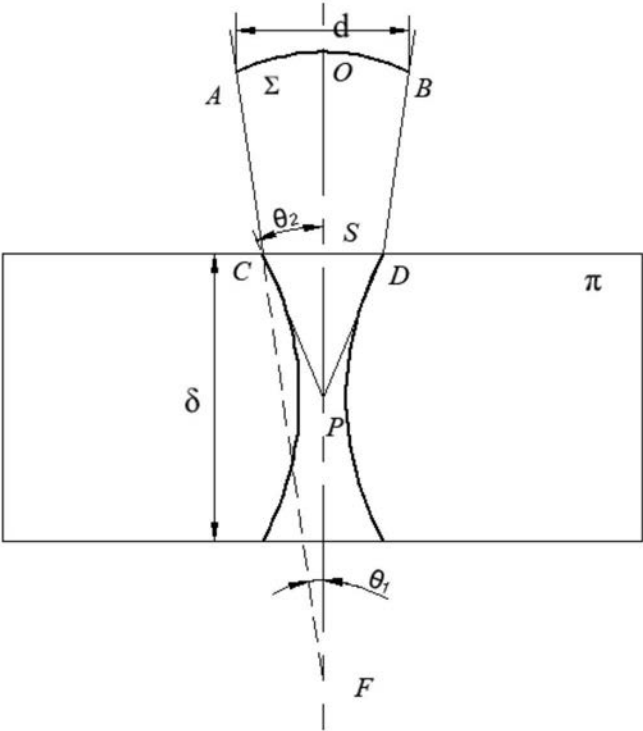


图1

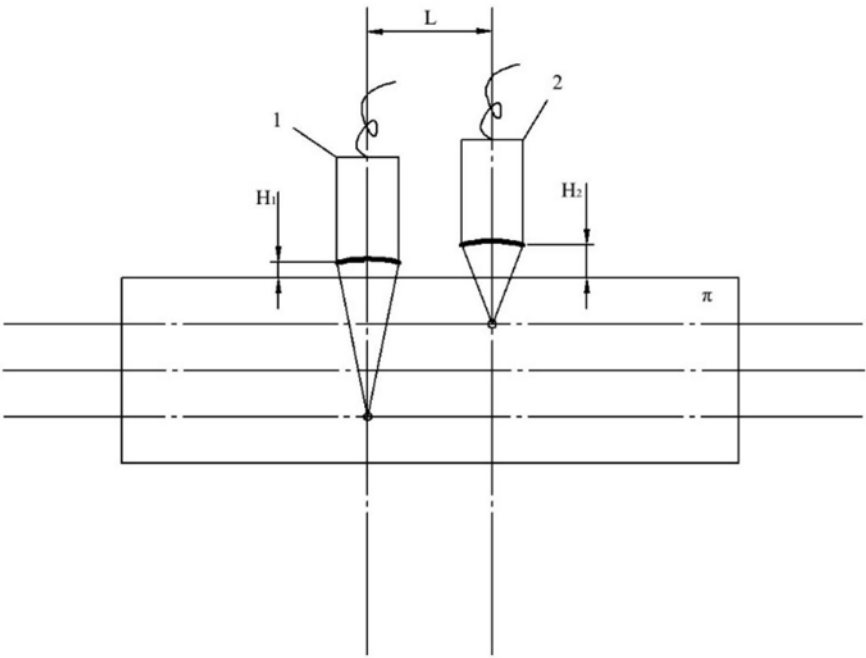


图2

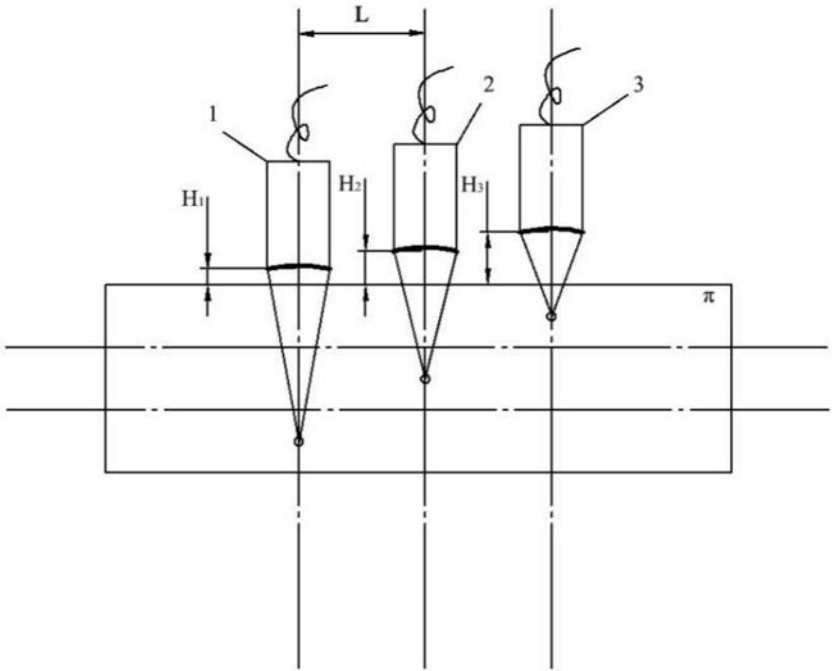


图3

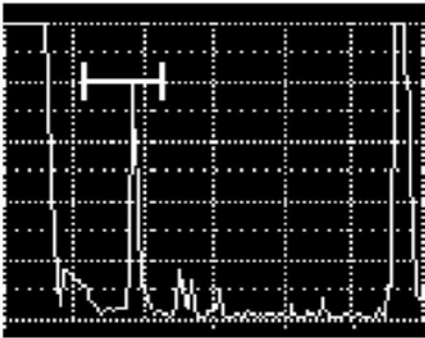


图4

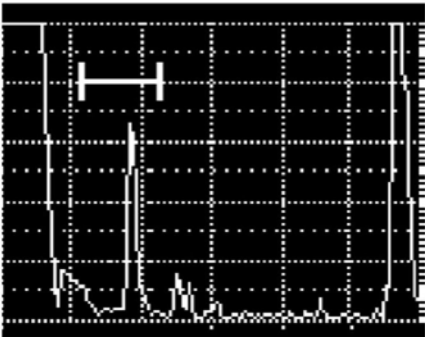


图5

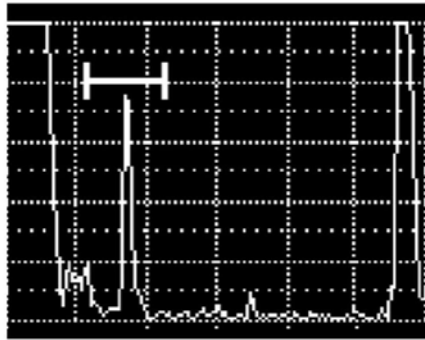


图6

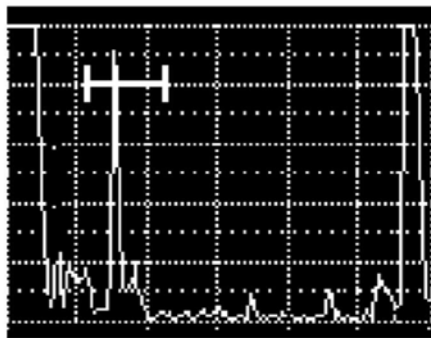


图7