



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104359982 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 18

(21) 申请号 201410663770. 4

(22) 申请日 2014. 11. 19

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 刚铁 王常玺 张佳莹 冯伟

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 杨立超

(51) Int. Cl.

G01N 29/24 (2006. 01)

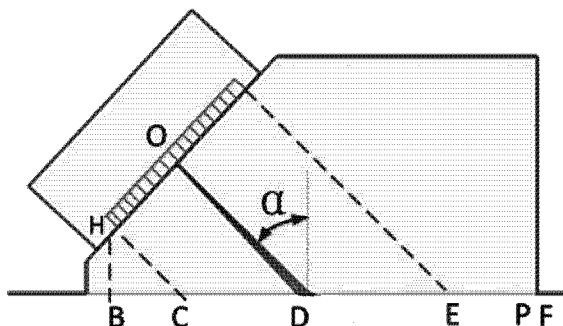
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法

(57) 摘要

一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法, 涉及薄板焊缝的检测领域。本发明为了解决采用分析计算及声场模拟仿真方法进行相控阵横波探伤楔块设计方法不完善的问题。本发明的一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法包括以下步骤: 步骤一、确定出入射角  $\alpha_1$ : 采用声线模拟的方式使楔块中入射的声束刚好反射到板中间位置, 同时采用声场模拟的方法, 在已知被检测薄板板厚度的前提下, 利用声场模拟软件 CIVA 模拟出不同角度下声束的声束聚焦状况, 角度范围为  $60^\circ \sim 80^\circ$ , 然后选择聚焦效果最好且声束入射点距离较大时的角度, 以确定折射角  $\beta$  值的范围, 可确定出入射角  $\alpha_1$ ; 步骤二、确定楔块前沿长度。本发明用于薄板焊缝的检测。



1. 一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、确定出入射角  $\alpha_1$ :采用声线模拟的方式使楔块中入射的声束刚好反射到被检测薄板的中间位置,同时采用声场模拟的方法,在已知被检测薄板板厚度的前提下,利用声场模拟软件 CIVA 模拟出不同角度下声束的声束聚焦状况,角度范围为  $60^\circ \sim 80^\circ$ ,然后选择聚焦效果最好且声束入射点距离较大时的角度,以确定折射角  $\beta$  值的范围,再根据下列 snell 公式,可确定出入射角  $\alpha_1$ ;

$$\frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_{s1}}$$

$C_1$  是有机玻璃声速,  $C_{s1}$  为铝中横波声速,  $\beta$  是折射角;

步骤二、确定楔块前沿长度:声束从晶片发出后经过楔块直接入射到薄板中,在折射角为  $90^\circ$  时,测出边缘晶片声束的入射点与最末端晶片所对应的垂直入射点之间的距离,据此计算出楔块前沿长度。

2. 根据权利要求 1 所述的薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法,其特征在于,楔块前沿设有锯齿状槽。

## 一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及到一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法,属于薄板焊缝的检测领域。

### 背景技术

[0002] 薄板焊缝的检测一直是无损检测行业的难点之一,而采用超声相控阵检测薄板焊缝主要需要考虑以下三个问题:1、检测时探头楔块前沿不应越过焊缝边缘,2、相控阵声束需要最大程度地覆盖到检测区域,3、在缺陷探测位置处能够实现声束聚焦。为了实现以上三点要求,需要确定合适的声束入射角以及合适的楔块几何形状,在实验中应选择合适的声束摆动范围。而现有技术中,多是通过长时间的摸索实验形成的经验来设计楔块,不具有针对性,并且往往不够精确,因此实用性会受到一定局限。采用分析计算及声场模拟仿真方法进行相控阵横波探伤楔块设计方法还有待完善。

### 发明内容

[0003] 为了解决采用分析计算及声场模拟仿真方法进行相控阵横波探伤楔块设计方法还有待完善的问题,本发明提供了一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法。

[0004] 本发明的技术方案是:一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤一、确定出入射角  $\alpha_1$ :采用声线模拟的方式使楔块中入射的声束刚好反射到被检测薄板的中间位置,同时采用声场模拟的方法,在已知被检测薄板板厚度的前提下,利用声场模拟软件 CIVA 模拟出不同角度下声束的声束聚焦状况,角度范围为  $60^\circ \sim 80^\circ$ ,然后选择聚焦效果最好且声束入射点距离较大时的角度,以确定折射角  $\beta$  值的范围,再根据下列 snell 公式,可确定出入射角  $\alpha_1$ :

$$[0006] \quad \frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_{s1}}$$

[0007]  $C_1$  是有机玻璃声速,  $C_{s1}$  为铝中横波声速,  $\beta$  是折射角;

[0008] 步骤二、确定楔块前沿长度:声束从晶片发出后经过楔块直接入射到薄板中,在折射角为  $90^\circ$  时,测出边缘晶片声束的入射点与最末端晶片所对应的垂直入射点之间的距离,据此计算出楔块前沿长度。

[0009] 本发明有益效果如下:本发明的薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法,针对薄板的特点,设计了一种用于超声相控阵横波检测的楔块。采用该楔块检测时可以提高检测灵敏度,去除杂波,减少衰减,具有较好的工业应用前景。

### 附图说明

[0010] 图 1 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的楔块示意图。

[0011] 图 2 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法的模拟声束示意图。

[0012] 图 3 是本发明的薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中楔块到焊缝距离与折射角的关系示意图。

[0013] 图 4a 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的 5mm 厚铝板在不同电子扫查声场模拟示意图

[0014] 图 4b 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的 5mm 厚铝板在不同电子扫查声场模拟示意图。

[0015] 图 4c 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的 5mm 厚铝板在不同电子扫查声场模拟示意图。

[0016] 图 4d 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的 5mm 厚铝板在不同电子扫查声场模拟示意图。

[0017] 图 4e 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的 5mm 厚铝板在不同电子扫查声场模拟示意图。

[0018] 图 5 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的人造缺陷示意图。

[0019] 图 6 是本发明薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法中的侧孔扇扫图。

### 具体实施方式

[0020] 具体实施方式一：结合图 1 至图 6 说明本实施方式，本实施方式的一种薄板焊缝超声相控阵检测楔块的方法，其特征在于，包括以下步骤：

[0021] 步骤一、确定出入射角  $\alpha_1$ ：采用声线模拟的方式使楔块中入射的声束刚好反射到被检测薄板的中间位置，同时采用声场模拟的方法，在已知被检测薄板厚度的前提下，利用声场模拟软件 CIVA 模拟出不同角度下声束的声束聚焦状况，角度范围为  $60^\circ \sim 80^\circ$ ，然后选择聚焦效果最好且声束入射点距离较大时的角度，以确定折射角  $\beta$  值的范围，再根据

下列 snell 公式，可确定出入射角  $\alpha_1$ ；
$$\frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_{s1}}$$

[0022]  $c_1$  是有机玻璃声速， $c_{s1}$  为铝中横波声速， $\beta$  是折射角；

[0023] 步骤二、确定楔块前沿长度：声束从晶片发出后经过楔块直接入射到薄板中，在折射角为  $90^\circ$  时，测出边缘晶片声束的入射点与最末端晶片所对应的垂直入射点之间的距离，据此计算出楔块前沿长度。

[0024] 具体实施方式二：结合图 1 至图 6 说明本实施方式，本实施方式的楔块前沿设有锯齿状槽。可减少楔块中前端面反射波对检测的影响。其它组成和连接关系与具体实施方式一相同。

[0025] 具体设计过程如下：

[0026] 本发明采用分析计算及声场模拟仿真方法进行了相控阵横波探伤楔块设计，具体应用的探头参数如表 1 所示：

[0027] 表 1 超声波相控阵探头参数

[0028]

晶片数量 (个)	中心频率 (MHz)	晶片长度 (mm)	晶片间距 (mm)	有效孔径 (mm)
32	10	7.0	0.31	9.9

[0029] 具体步骤如下：

[0030] 1、声束角度  $\alpha$  的确定

[0031] 由 Snell 公式可知：
$$\frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_{s1}}$$

[0032] 式中： $c_1$  是有机玻璃声速， $c_{s1}$  为铝中横波声速，如图 1 给出计算分析示意图。图中 B 点表示探头后沿，C 点表示 32 个晶片阵列中第一个晶片垂直发出的波对应的入射点，D 点表示 32 个晶片最中心的晶片的入射点，E 点表示 32 个晶片中最中心的晶片所对应的垂直入射点，F 点表示探头前沿，EF 为预留出的空间以防止反射声波的干扰距离，M 表示位于板中心的缺陷。P 代表边缘晶片声束的入射点。因而探头晶片中心入射点 D 距离缺陷 M（图 2）的水平距离 L 可以通过下式公式求得

[0033] 
$$L = \frac{1.5\delta}{\tan \beta}$$

[0034] 由于探头下沿不能紧贴工件表面，取 BH 为 3mm，则经过计算推导可以得到

[0035] 
$$DF = \frac{4.9}{\cos \beta} + EF$$

[0036] 
$$d = 1 - DF = \frac{1.5\delta}{\tan \beta} - \frac{4.9}{\cos \beta} - EF$$

[0037] 式中 d 为楔块前沿与焊缝中心线的距离。经过分析可知：d 决定于折射角  $\beta$  和板厚  $\delta$ 。

[0038] 为了准确确定  $\alpha$ 、d 等关键数据，分别对 3mm、5mm、8mm 厚板中声束的传播进行了模拟，取折射角  $60^\circ \sim 80^\circ$ ，步长  $5^\circ$  的折射角进行计算，实验用板材具体参数如表 2 所示。利用计算出的数据对其进行声束模拟，典型的模拟声束如图 2 所示。综合考虑不同板厚探头前沿距离焊缝中心的距离，将其与折射角关系绘成如图 3 的关系图：

[0039] 表 2 检测材料参数

[0040]

材料	纵波声速	横波声速	楔块声速
铝合金	6320m/s	3080m/s	2338m/s

[0041] 从图 3 可以看出，在选择折射角度时，应尽量选择较大角度，从而可以保证探头前沿不会越过焊缝边界。为了确定能使声场聚焦效果较好的扫查角度的上限值，对不同扇扫角度扫查进行了聚焦声场模拟。

[0042] 声场模拟中采用 5mm 厚板，每次激励中间的 16 个晶片为一组，聚焦位置在声波经过一次反射到板中间位置，典型的声场模拟图如图 4a ~ 图 4e 中 5mm 厚铝板在不同电子扫查声场模拟示意图所示。图 4a 扫查角为  $60^\circ$ ，图 4b 扫查角为  $65^\circ$ ，图 4c 扫查角为  $70^\circ$ ，图 4d 扫查角为  $75^\circ$ ，图 4e 扫查角为  $80^\circ$ 。

[0043] 在利用电子扫查控制声束偏转角度的过程中,声束的聚焦效果随扇扫角度增大而变差,在声束角度达到 80 度时声束在一次反射后已完全发散。因此不应仅依赖于电子扫查进行声束的偏转,声束在板中的自然折射角应较大,这样在使用电子扫查时便可以减少延迟定律控制的大角度声束偏转,保持良好的聚焦效果。根据声束传播路径的模拟结果可以确定折射角为  $\beta$ ,根据 Snell 定理可以计算出对应入射角  $\alpha$ 。

#### [0044] 2、楔块长度的确定

[0045] 在确定楔块长度时,需要考虑有两个因素:一是保证声束从晶片发出后经过楔块直接入射到板中,为此,需考虑极限情况即当折射角为  $90^\circ$  时,边缘晶片声束的入射点 P 与 E 的距离,据此计算出 EP,EF 应大于 EP 以预留出一定空间减少反射造成的杂波。为了减少楔块中前端面反射波对检测的影响,在楔块前沿加工了锯齿状槽,加工后的楔块如图 5 所示。

#### [0046] 效果验证

[0047] 为验证设计楔块的使用效果,对人工模拟缺陷进行实际检测。对于侧孔检测结果如图 6 所示。由图 6 可知,在入射角设计为  $\alpha_1$  时,扇扫角度为  $60^\circ \sim 80^\circ$  时,图中不同深度缺陷位置刚好在扇扫图像中心,这说明楔块角度设计基本合理,且扫查范围选择较合适,能够有效地探测到板中不同深度的缺陷,且不用选用较大的扇扫范围,从而保证了声束的聚焦效果;图中缺陷信号具有良好的信噪比,能够探测到 5mm 板中距离上表面 2.5mm 的直径为 0.5mm 的侧孔,具有较好的探伤能力;同时,在对搅拌摩擦焊焊缝进行探伤时,可以有效地避开焊缝波纹区域,避免了探头越过焊缝边界的问题,从而保证了良好的耦合并避免了杂波干扰。

[0048] 缺陷位置刚好在扇扫图像中心,这说明楔块角度设计基本合理,且扫查范围选择较合适,,且不用选用较大的扇扫范围,从而保证了声束的聚焦效果;图中缺陷信号具有良好的信噪比,能够探测到 5mm 板中距离上表面 2.5mm 的直径为 0.5mm 的侧孔,具有较好的探伤能力;同时,在对搅拌摩擦焊焊缝进行探伤时,可以有效地避开焊缝波纹区域,避免了探头越过焊缝边界的问题,从而保证了良好的耦合并避免了杂波干扰。因此该技术具有良好的应用前景。

[0049] 上述内容仅为本发明的较佳实施例,并非用于限制本发明的实施方案,本领域普通技术人员根据本发明的主要构思和精神,可以十分方便地进行相应的变通或修改,故本发明的保护范围应以权利要求书所要求的保护范围为准。

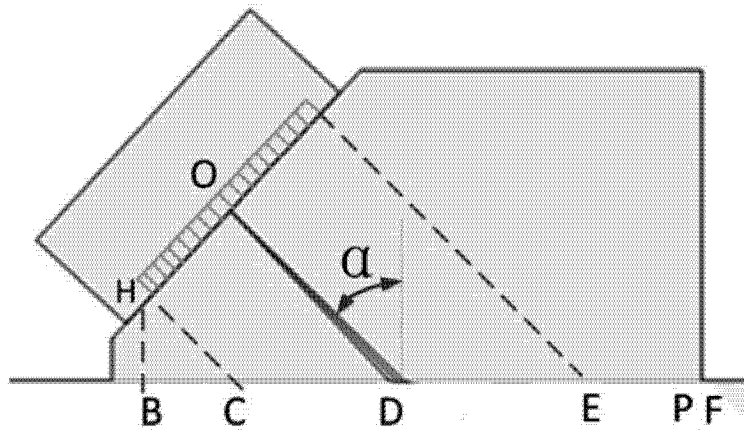


图 1

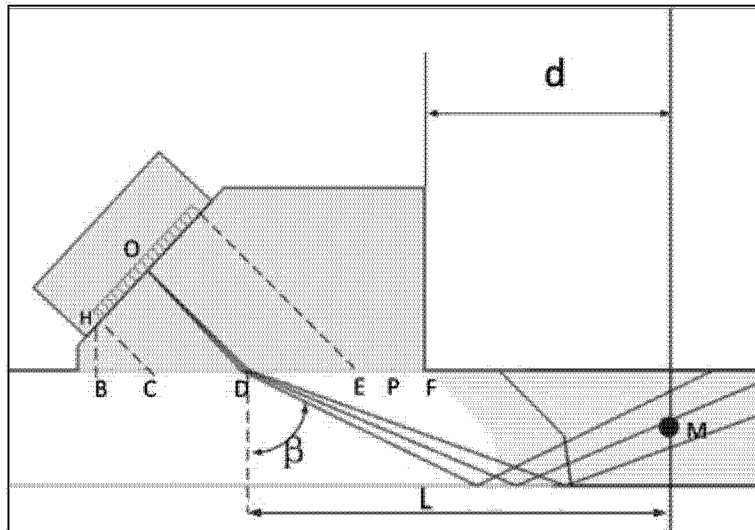


图 2

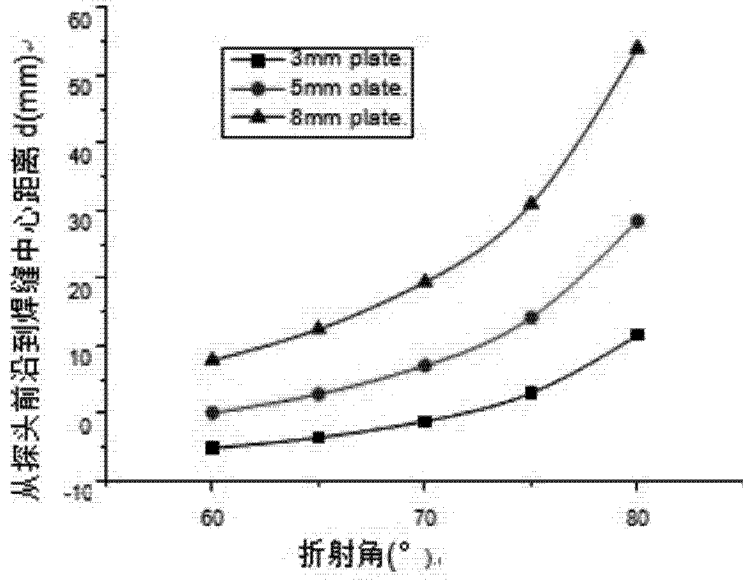


图 3

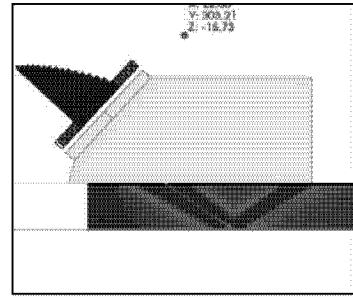


图 4a

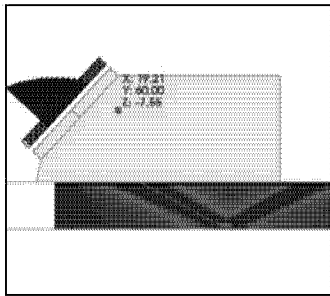


图 4b

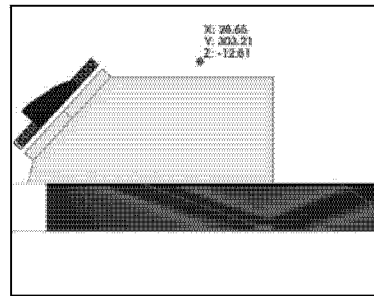


图 4c

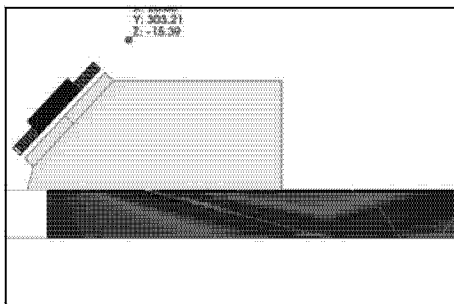


图 4d

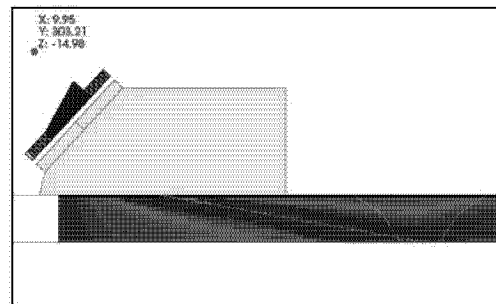


图 4e



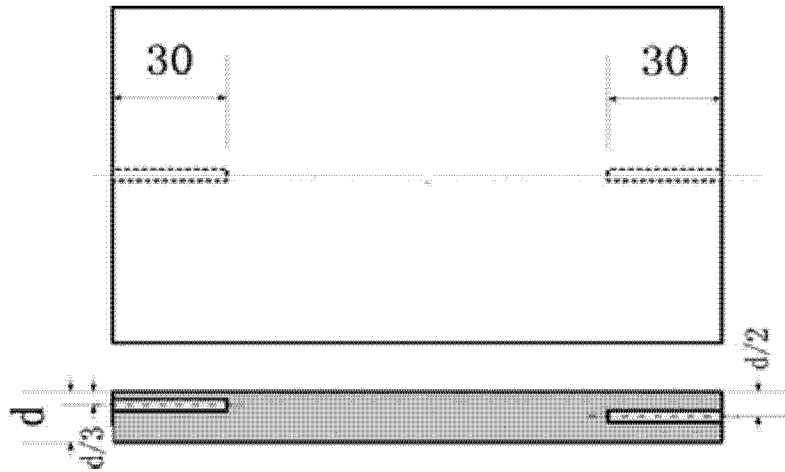


图 5

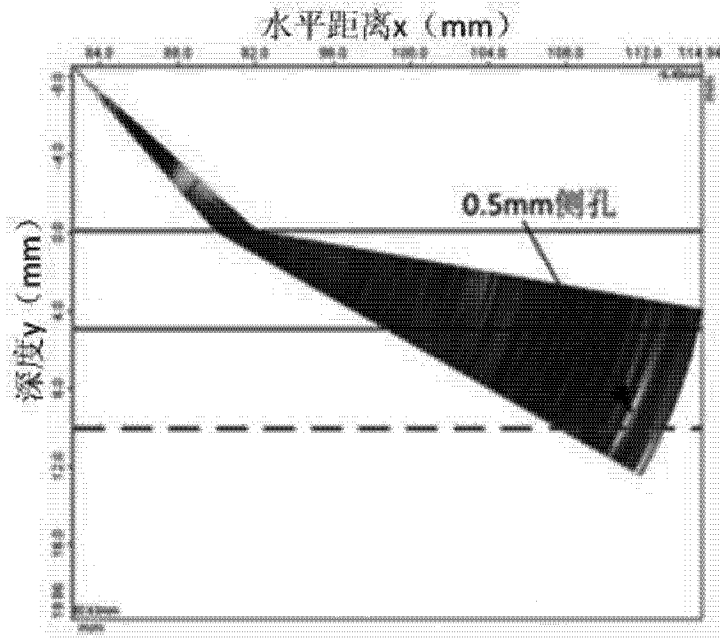


图 6