

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 11 月 1 日 (01.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/196148 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 3/08 (2006.01) **G01L 1/25** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/089951
- (22) 国际申请日: 2017 年 6 月 26 日 (26.06.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710294916.6 2017年4月28日 (28.04.2017) CN
201720465160.2 2017年4月28日 (28.04.2017) CN
- (71) 申请人: 大连理工大学(DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市高新园区凌工路2号, Liaoning 116024 (CN)。
- (72) 发明人: 孙清超(SUN, Qingchao); 中国辽宁省大连市高新园区凌工路2号, Liaoning 116024

(CN)。袁博(YUAN, Bo); 中国辽宁省大连市高新园区凌工路2号, Liaoning 116024 (CN)。
孙伟(SUN, Wei); 中国辽宁省大连市高新园区凌工路2号, Liaoning 116024 (CN)。黄伟强(HUANG, Weiqiang); 中国辽宁省大连市高新园区凌工路2号, Liaoning 116024 (CN)。

(74) 代理人: 大连东方专利代理有限责任公司(DALIAN EAST PATENT AGENT LTD.); 中国辽宁省大连市西岗区黄河路263号608室, Liaoning 116011 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: METHOD FOR ESTABLISHMENT OF CURVE ILLUSTRATIVE OF RELATIONSHIP BETWEEN INTERFACE ULTRASONIC REFLECTANCE AND PRESSURE BASED ON ROUNDED PLANAR CONTACT THEORY AND LOAD EXPERIMENTAL STATION

(54) 发明名称: 基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台

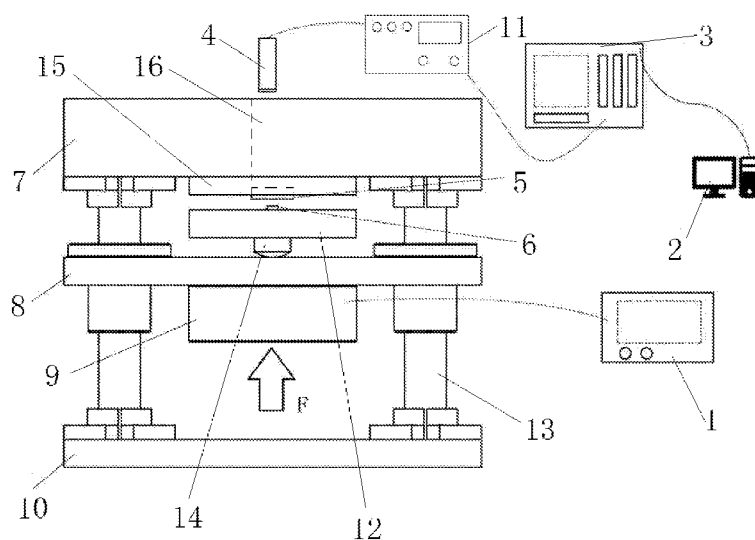


图 1

(57) Abstract: Provided are a method for establishment of a curve illustrative of a relationship between an interface ultrasonic reflectance and a pressure based on the rounded planar contact theory, and a load experimental station. The load experimental station comprises a pressure display device (1), a control end (2), an oscilloscope (3), an immersion ultrasonic transducer (4), a large cylindrical member (5), a small cylindrical member (6), an upper faceplate (7), a movable plate (8), a pressure sensor (9), a lower faceplate (10), an ultrasonic transceiver (11), and a small cylindrical member connection plate (12). The method for establishment of a curve illustrative of a relationship between an interface ultrasonic reflectance and a pressure based on the rounded planar contact theory and a load experimental station enable establishment of a more accurate curve illustrative of a relationship between an interface ultrasonic reflectance and a pressure and have high detection precision.



LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台, 所述加载试验台, 包括压力显示器 (1), 控制端 (2), 示波器 (3), 水浸超声波换能器 (4), 大圆柱体 (5), 小圆柱体 (6), 上面板 (7), 移动板 (8), 压力传感器 (9), 下面板 (10), 超声波收发器 (11) 和小圆柱体连接板 (12)。该基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台, 能够构建更加准确的超声波反射率-压强的关系曲线, 检测精度高。

基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台

5 技术领域

本发明涉及超声波检测技术领域，具体说是一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台。

背景技术

界面的性能对机械设备的动态特性、抗振性、运动响应敏捷性等性能有重要影响。随着“中国制造 2025”的政策实施，高端装配等也日益以质量为主导。实现对接界面的检测就变得尤为重要。相关专利公开的结合面压力分布检测方法，大部分是在接触界面内采用压敏膜作为测量接触压强分布的手段，但是，压敏膜本身已经改变了界面条件，最终导致难以分析测量的结果。而超声波检测接触界面的方式是属于无损检测，无需改变界面接触的状态，即可完成检测任务，所以超声波检测接触界面状态这种方式将会是高端装配领域的重点。

而超声波检测方面，现有的曲线构建方法，大部分采用一个区域的平均压强来表征超声波反射率的特征值，在一定程度上对曲线的构建产生了误差，使得最后的测试结果不够精确。而利用圆角平面接触理论，则能利用较为精确的压强分布情况与超声波的反射率相对应，同时利用迭代的方式，进一步消除误差，通过多次消差方式，使得最后获取的超声波反射率-压强关系曲线更加精确，对测量界面的压强分布具有很强的指导意义。

而对于加载试验台，现有的加载试件大部分采用整体式，存在体积大，材料浪费等问题，尤其对于检测材料为钛合金之类的试件，成本较高；同时对于加载中由直线移动误差而导致的偏载没有进行有效的处理，对检测的结果造成一定量的误差。而利用本发明的加载试件设置为组装式，只需要一个 $\varnothing 20\text{mm} \times 25\text{mm}$ 的试件就可实现检测效果；同时压头的设计，采用自平衡的方式，可以有效地减少偏载带来的误差影响。

发明内容

本发明的目的在于克服利用压敏膜检测的不足，以及克服平均压强方式带来的误差，本发明提供了一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台，本发明采用圆角平面接触理论，能够较为精

确的了解超声波反射率与压强的对应关系，并且运用同点多次采集取平均的方式减小测量、移动等带来的误差。

本发明采用的技术手段如下：

一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法，

5 具有如下步骤：

S1、将加载面放在加载系统的中心位置，利用激光探头完成对加载系统位置的确定，以及确定出加载系统的中心位置坐标，得到加载面的中心位置坐标 O_1 ；

所述加载面为圆角平面；

10 S2、分别在无加载和不同压力下，利用水浸超声波换能器在同一扫描路径下扫描加载面处的情况，得到零点信号与特征信号，用特征信号与零点信号的比值计算出超声波的反射率，然后得到超声波的反射率的分布曲线，如式（1）所示：

$$R=f_1(r) \quad (1)$$

15 其中， r 为扫描区域与 O_1 之间的距离；

R 为 r 所对应的扫描区域的超声波反射率的平均值；

所述扫描路径为放射型路径，包括多条子路径，所述子路径指的是从加载面的中心位置开始，沿直线到达加载面的边界，再从加载面的边界沿直线回到加载面的中心位置结束；

20 S3、利用超声波反射率的分布呈同心圆的特点，对加载面的中心位置进行重新校正，得到加载面的中心位置坐标 O_2 ，若 O_1 和 O_2 重合，则执行步骤 S4，若 O_1 和 O_2 不重合，则执行步骤 S2；

S4、根据超声波反射率的分布情况，确定超声波反射率的分布边界的边界特征值 a_i ，计算出平均边界特征值 a ，其中， a_i 为超声波反射率的分布边界到 O_2 25 之间的距离；

S5、根据圆角平面接触理论，确定出每一扫描面区域的压强值，然后得扫描区域与 O_2 之间的距离 r 与压强 P 的对应关系，如式（2）所示：

$$P=f_2(r) \quad (2)$$

S6、根据式（1）和式（2），推导 R 与 P 的对应关系，得到初始的超声波反 30 射率-压强关系曲线，如式（3）所示：

$$P=f_3(R) \quad (3)$$

S7、利用式(3)的初始超声反射率-压强关系曲线,计算在不同压力下的压强值 P_i' ,利用积分的方式,计算出计算总载荷 W_i' ,

$$W_i' = \int P_i' dx dy \quad (4)$$

利用计算总载荷 W_i' 与压力传感器测量得到的实际载荷 W_i 相除,得到对应不同压力的多个修正系数 K_i ,取其平均值,得到平均修正系数 K ,

其中,

$$K_i = \frac{W_i}{W_i'} \quad (5)$$

S8、利用平均修正系数 K 对初始的反射率-压强关系曲线进行修正,得到最终的反射率-压强关系曲线:

$$P_i = K_i \times P_i' \quad (6)。$$

工作状态下,超声波收发器产生激励,将激励传递给所述水浸超声波换能器,所述水浸超声波换能器产生超声波信号后,分别在无加载和不同压力下,利用水浸超声波换能器在同一扫描路径下扫描加载面处的情况,并接受超声波返回信号,所述水浸超声波换能器将超声波返回信号转化为电压信号,发送给所述超声波收发器,所述超声波收发器将电压信号传递给示波器,所述示波器将电压信号显示并传递给控制端。

所述步骤 S2 中,零点信号通过以下方式得到:

在无加载的情况下,利用水浸超声波换能器在扫描路径下扫描加载面处的情况,得到的超声波返回信号作为零点信号。

所述步骤 S2 中,特征信号通过以下方式得到:

在不同压力下,利用水浸超声波换能器在扫描路径下扫描加载面处的情况,得到的超声波返回信号作为特征信号,所述不同压力包括多个逐渐增大的压力,相邻压力的差值的绝对值均相等。

所述步骤 S2 中,用特征信号与零点信号的比值计算出超声波的反射率指的是:

对零点信号和特征信号进行快速傅里叶变换,同时利用式(7)计算出相应的超声波反射率,获得扫描路径下的反射率分布情况,

其中,式(7)为:

$$R_i = \frac{h_i}{H_i} \quad (7)$$

R_i 为超声波的反射率, h_i 为特征信号的幅值, H_i 为零点信号的幅值;

由于所述子路径的特点，加载面的同一位置会扫描两次，取超声波反射率的平均值建立反射率的分布曲线 $R=f_1(r)$ 。

所述步骤 S6 中， R 与 P 的对应关系通过以下方法推导：

利用圆角平面接触理论，利用式 (8) 以及步骤 S4 中得到的 a ，计算出对应
5 压力下，压强的分布曲线，利用超声波反射率的分布曲线与压强的分布曲线相拟合，得到初始的超声波反射率-压强关系曲线；

其中式 (8) 为：

$$p(r) = \frac{2k}{\pi A} \begin{cases} \int_b^a \frac{(2\sqrt{s^2-b^2}-b\arccos\frac{b}{s})ds}{\sqrt{s^2-r^2}}, & 0 < r < b, \\ \int_r^a \frac{(2\sqrt{s^2-b^2}-b\arccos\frac{b}{s})ds}{\sqrt{s^2-r^2}}, & b < r < a \end{cases} \quad (8)$$

其中， $k = \frac{1}{R_c}$ ， $A = 2\left(\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2}\right)$ ， V_i 为材料的泊松比， E_i 为材料的杨氏模
10 量， a 为平均边界特征值， R_c 为圆角平面的圆角面的圆角半径， b 为圆角平面的平面的半径， s 为特性变量。

一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法的加载试验台，包括压力显示器，控制端，示波器，水浸超声波换能器，大圆柱体，小圆柱体，上面板，移动板，压力传感器，下面板，超声波收发器和小圆
15 柱体连接板；

所述大圆柱体，所述小圆柱体和所述加载试验台的轴线位于同一直线上；

所述上面板与所述下面板之间设有两个竖直导柱，所述移动板位于所述上面板与所述下面板之间且与两个所述竖直导柱滑动连接，所述移动板的下表面设有所述压力传感器，所述小圆柱体连接板位于所述移动板与所述上面板之间，
20 所述小圆柱体连接板的下表面设有压头，所述小圆柱体连接板的上表面设有所述小圆柱体，所述移动板的上表面设有连接所述压头的连接槽，所述上面板的下表面设有大圆柱体连接板，所述大圆柱体连接板的下表面设有连接所述大圆柱体的螺纹孔，所述上面板上设有用于所述水浸超声波换能器插入的水槽，所述水槽穿过所述大圆柱体连接板与所述螺纹孔连通；

所述压力显示器与所述压力传感器电连接，所述控制端与所述示波器电连接，所述示波器与所述超声波收发器电连接，所述超声波收发器与所述水浸超
25 声波换能器电连接；

工作状态下，所述超声波收发器产生激励，将激励传递给位于所述水槽内的所述水浸超声波换能器，所述水浸超声波换能器产生超声波信号后扫描所述

小圆柱体的上表面，并接受超声波返回信号，所述水浸超声波换能器将超声波返回信号转化为电压信号，发送给所述超声波收发器，所述超声波收发器将电压信号传递给所述示波器，所述示波器将电压信号显示并传递给所述控制端。

所述示波器的型号为 TDS3012C，所述水浸超声波换能器的型号为
5 OLYMPUS V312-0.25-10MHz-PTF，所述超声波收发器的型号为 PR5700。

所述小圆柱体的上表面具有与所述小圆柱体的侧面连接的圆角面，所述圆角面的圆角半径为 1.5mm。

所述螺纹孔与所述大圆柱体之间设有密封圈。

所述示波器与所述控制端通过 GPIB 线连接。

10 本发明的基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法及加载试验台，与现有的方案相比，能够构建更加准确的超声波反射率-压强的关系曲线，检测精度高。

基于上述理由本发明可在超声波检测等领域广泛推广。

附图说明

15 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做以简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

20 图 1 是本发明的具体实施方式中基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法的加载试验台。

图 2 是本发明的具体实施方式中大圆柱体与小圆柱体接触加载时的示意图。

图 3 是本发明的具体实施方式中放射型路径的示意图。

图 4 是本发明的具体实施方式中压强的分布曲线。

图 5 是本发明的具体实施方式中反射率-压强关系曲线图。

25 具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

30

如图 1-图 5 所示，一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关

系曲线建立方法，该方法是基于一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法的加载试验台实现的，所述加载试验台包括压力显示器 1，控制端 2，示波器 3，水浸超声波换能器 4，大圆柱体 5，小圆柱体 6，上面板 7，移动板 8，压力传感器 9，下面板 10，超声波收发器 11 和小圆柱体连接板 12；

所述大圆柱体 5，所述小圆柱体 6 和所述加载试验台的轴线位于同一直线上；

所述上面板 7 与所述下面板 10 之间设有两个竖直导柱 13，所述移动板 8 位于所述上面板 7 与所述下面板 10 之间且与两个所述竖直导柱 13 滑动连接，所述移动板 8 的下表面设有所述压力传感器 9，所述小圆柱体连接板 12 位于所述移动板 8 与所述上面板 7 之间，所述小圆柱体连接板 12 的下表面设有压头 14，所述小圆柱体连接板 12 的上表面设有所述小圆柱体 6，所述移动板 8 的上表面设有连接所述压头 14 的连接槽，所述上面板 7 的下表面设有大圆柱体连接板 15，所述大圆柱体连接板 15 的下表面设有连接所述大圆柱体 6 的螺纹孔，所述上面板 7 上设有用于所述水浸超声波换能器 4 插入的水槽 16，所述水槽 16 穿过所述大圆柱体连接板 15 与所述螺纹孔连通；

可通过液压缸推动所述压力传感器 9，进而推动所述移动板 8 移动，将所述小圆柱体 6 压在所述大圆柱体 5 上。

所述压力显示器 1 与所述压力传感器 9 电连接，所述控制端 2 与所述示波器 3 电连接，所述示波器 3 与所述超声波收发器 11 电连接，所述超声波收发器 11 与所述水浸超声波换能器 4 电连接；

所述示波器 3 的型号为 TDS3012C，所述水浸超声波换能器 4 的型号为 OLYMPUS V312-0.25-10MHz-PTF，所述超声波收发器 11 的型号为 PR5700。

所述小圆柱体 6 的上表面具有与所述小圆柱体 6 的侧面连接的圆角面 17 以及平面 18，所述圆角面 17 的圆角半径为 1.5mm，所述平面 18 的直径为 10mm。

所述螺纹孔与所述大圆柱体 5 之间设有密封圈，用于防止水从所述螺纹孔与所述大圆柱体 5 之间流出。

所述示波器 3 与所述控制端 2 通过 GPIB 线连接。

所述方法具有如下步骤：

S1、将加载面（所述小圆柱体 6 的上表面，以下同）放在加载系统的中心位置，利用激光探头完成对加载系统位置的确定，以及确定出加载系统的中心位置坐标，得到加载面的中心位置坐标 O_1 ；

所述加载面为圆角平面，所述小圆柱体 6 的上表面即为圆角平面；

S2、分别在无加载和不同压力下，利用水浸超声波换能器 4 在同一扫描路径下扫描加载面处的情况，得到零点信号与特征信号，用特征信号与零点信号的比值计算出超声波的反射率，然后得到超声波的反射率的分布曲线，如式(1)

5 所示：

$$R=f_1(r) \quad (1)$$

其中， r 为扫描区域与 O_1 之间的距离；

R 为 r 所对应的扫描区域的超声波反射率的平均值；

所述扫描路径为放射型路径，包括八条子路径，如图 3 中的折返箭头所示，

10 所述子路径指的是从加载面的中心位置开始，沿直线到达加载面的边界，再从加载面的边界沿直线回到加载面的中心位置结束；

S3、利用超声波反射率的分布呈同心圆的特点，对加载面的中心位置进行重新校正，得到加载面的中心位置坐标 O_2 ，若 O_1 和 O_2 重合，则执行步骤 S4，若 O_1 和 O_2 不重合，则执行步骤 S2；

15 S4、根据超声波反射率的分布情况，确定超声波反射率的分布边界的边界特征值 a_i ，计算出平均边界特征值 a ，其中， a_i 为超声波反射率的分布边界到 O_2 之间的距离；

S5、根据圆角平面接触理论，确定出每一扫描区域的压强值，然后得扫描区域与 O_2 之间的距离 r 与压强 P 的对应关系，如式(2)所示：

$$20 \quad P=f_2(r) \quad (2)$$

S6、根据式(1)和式(2)，推导 R 与 P 的对应关系，得到初始的超声波反射率-压强关系曲线，如式(3)所示：

$$P=f_3(R) \quad (3)$$

25 S7、利用式(3)的初始超声反射率-压强关系曲线，计算在不同压力下的压强值 P'_i ，利用积分的方式，计算出计算总载荷 W'_i ，

$$W'_i = \int P'_i dx dy \quad (4)$$

利用计算总载荷 W'_i 与压力传感器 9 测量得到的实际载荷 W_i 相除，得到对应不同压力的多个修正系数 K_i ，取其平均值，得到平均修正系数 K ，

其中，

$$30 \quad K_i = \frac{W_i}{W'_i} \quad (5)$$

S8、利用平均修正系数 K 对初始的反射率-压强关系曲线进行修正，得到最

终的反射率-压强关系曲线（如图 5 所示）：

$$P_i = K_i \times P'_i \quad (6)。$$

所述步骤 S2 中，零点信号通过以下方式得到：

在无加载的情况下，利用水浸超声波换能器 4 在扫描路径下扫描加载面处的情况，得到的超声波返回信号作为零点信号。

所述步骤 S2 中，特征信号通过以下方式得到：

在不同压力下，利用水浸超声波换能器 4 在扫描路径下扫描加载面处的情况，得到的超声波返回信号作为特征信号，所述不同压力包括多个逐渐增大的压力，相邻压力的差值的绝对值均相等，本实施例，所述不同压力为 200MP、400MP 和 600MP。

所述步骤 S2 中，用特征信号与零点信号的比值计算出超声波的反射率指的是：

对零点信号和特征信号进行快速傅里叶变换，同时利用式（7）计算出相应的超声波反射率，获得扫描路径下的反射率分布情况，

其中，式（7）为：

$$R_i = \frac{h_i}{H_i} \quad (7)$$

R_i 为超声波的反射率， h_i 为特征信号的幅值， H_i 为零点信号的幅值。

由于所述子路径的特点，加载面的同一位置会扫描两次，取超声波反射率的平均值建立反射率的分布曲线 $R=f_1(r)$ 。

所述步骤 S6 中， R 与 P 的对应关系通过以下方法推导：

利用圆角平面接触理论，利用式（8）以及步骤 S4 中得到的 a ，计算出对应压力下，压强的分布曲线，如图 4 所示，利用超声波反射率的分布曲线与压强的分布曲线相拟合，得到初始的超声波反射率-压强关系曲线；

其中式（8）为：

$$p(r) = \frac{2k}{\pi A} \begin{cases} \int_b^a \frac{(2\sqrt{s^2-b^2}-b\arccos\frac{b}{s})ds}{\sqrt{s^2-r^2}}, & 0 < r < b, \\ \int_r^a \frac{(2\sqrt{s^2-b^2}-b\arccos\frac{b}{s})ds}{\sqrt{s^2-r^2}}, & b < r < a \end{cases} \quad (8)$$

其中， $k = \frac{1}{R_c}$ ， $A = 2\left(\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2}\right)$ ， V_i 为材料的泊松比， E_i 为材料的杨氏模量， a 为平均边界特征值， R_c 为圆角平面的圆角面的圆角半径，即所述圆角面 17 的圆角半径； b 为圆角平面的平面的半径，即所述平面 18 的直径， s 为特性变量。

工作状态下，所述超声波收发器 11 产生激励，将激励传递给位于所述水槽 16 内的所述水浸超声波换能器 4，所述水浸超声波换能器 4 产生超声波信号后，分别在无加载和不同压力下，利用水浸超声波换能器 4 在同一扫描路径下扫描所述小圆柱体 6 的上表面，并接受超声波返回信号，所述水浸超声波换能器 4 将超声波返回信号转化为电压信号，发送给所述超声波收发器 11，所述超声波收发器 11 将电压信号传递给所述示波器 3，所述示波器 3 将电压信号显示并传递给所述控制端 2。

最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

权 利 要 求 书

1、一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法，其特征在于具有如下步骤：

5 S1、将加载面放在加载系统的中心位置，利用激光探头完成对加载系统位置的确定，以及确定出加载系统的中心位置坐标，得到加载面的中心位置坐标 O_1 ；

所述加载面为圆角平面；

10 S2、分别在无加载和不同压力下，利用水浸超声波换能器在同一扫描路径下扫描加载面处的情况，得到零点信号与特征信号，用特征信号与零点信号的比值计算出超声波的反射率，然后得到超声波的反射率的分布曲线，如式（1）所示：

$$R=f_1(r) \quad (1)$$

其中， r 为扫描区域与 O_1 之间的距离；

15 R 为 r 所对应的扫描区域的超声波反射率的平均值；

所述扫描路径为放射型路径，包括多条子路径，所述子路径指的是从加载面的中心位置开始，沿直线到达加载面的边界，再从加载面的边界沿直线回到加载面的中心位置结束；

20 S3、利用超声波反射率的分布呈同心圆的特点，对加载面的中心位置进行重新校正，得到加载面的中心位置坐标 O_2 ，若 O_1 和 O_2 重合，则执行步骤 S4，若 O_1 和 O_2 不重合，则执行步骤 S2；

S4、根据超声波反射率的分布情况，确定超声波反射率的分布边界的边界特征值 a_i ，计算出平均边界特征值 a ，其中， a_i 为超声波反射率的分布边界到 O_2 25 之间的距离；

S5、根据圆角平面接触理论，确定出每一扫描面区域的压强值，然后得扫描区域与 O_2 之间的距离 r 与压强 P 的对应关系，如式（2）所示：

$$P=f_2(r) \quad (2)$$

S6、根据式（1）和式（2），推导 R 与 P 的对应关系，得到初始的超声波反 30 射率-压强关系曲线，如式（3）所示：

$$P=f_3(R) \quad (3)$$

S7、利用式(3)的初始超声反射率-压强关系曲线,计算在不同压力下的压强值 P_i' ,利用积分的方式,计算出计算总载荷 W_i' ,

$$W_i' = \int P_i' dx dy \quad (4)$$

利用计算总载荷 W_i' 与压力传感器测量得到的实际载荷 W_i 相除,得到对应不同压力的多个修正系数 K_i ,取其平均值,得到平均修正系数 K ,

其中,

$$K_i = \frac{W_i}{W_i'} \quad (5)$$

S8、利用平均修正系数 K 对初始的反射率-压强关系曲线进行修正,得到最终的反射率-压强关系曲线:

$$P_i = K_i \times P_i' \quad (6)。$$

2、根据权利要求1所述的基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法,其特征在于:所述步骤S2中,零点信号通过以下方式得到:

在无加载的情况下,利用水浸超声波换能器在扫描路径下扫描加载面处的情况,得到的超声波返回信号作为零点信号。

3、根据权利要求1所述的基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法,其特征在于:所述步骤S2中,特征信号通过以下方式得到:

在不同压力下,利用水浸超声波换能器在扫描路径下扫描加载面处的情况,得到的超声波返回信号作为特征信号,所述不同压力包括多个逐渐增大的压力,相邻压力的差值的绝对值均相等。

4、根据权利要求1所述的基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法,其特征在于:所述步骤S2中,用特征信号与零点信号的比值计算出超声波的反射率指的是:

对零点信号和特征信号进行快速傅里叶变换,同时利用式(7)计算出相应的超声波反射率,获得扫描路径下的反射率分布情况,

其中,式(7)为:

$$R_i = \frac{h_i}{H_i} \quad (7)$$

R_i 为超声波的反射率, h_i 为特征信号的幅值, H_i 为零点信号的幅值;

由于所述子路径的特点,加载面的同一位置会扫描两次,取超声波反射率的平均值建立反射率的分布曲线 $R=f_1(r)$ 。

5、根据权利要求 1 所述的基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法，其特征在于：所述步骤 S6 中，R 与 P 的对应关系通过以下方法推导：

利用圆角平面接触理论，利用式 (8) 以及步骤 S4 中得到的 a，计算出对应压力下，压强的分布曲线，利用超声波反射率的分布曲线与压强的分布曲线相拟合，得到初始的超声波反射率-压强关系曲线；

其中式 (8) 为：

$$p(r) = \frac{2k}{\pi A} \begin{cases} \int_b^a \frac{(2\sqrt{s^2-b^2}-b\arccos\frac{b}{s})ds}{\sqrt{s^2-r^2}}, & 0 < r < b, \\ \int_r^a \frac{(2\sqrt{s^2-b^2}-b\arccos\frac{b}{s})ds}{\sqrt{s^2-r^2}}, & b < r < a \end{cases} \quad (8)$$

其中， $k = \frac{1}{R_c}$ ， $A = 2 \left(\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right)$ ， V_i 为材料的泊松比， E_i 为材料的杨氏模量，a 为平均边界特征值， R_c 为圆角平面的圆角面的圆角半径，b 为圆角平面的平面的半径，s 为特性变量。

6、一种基于圆角平面接触理论的界面超声波反射率-压强关系曲线建立方法的加载试验台，其特征在于：包括压力显示器，控制端，示波器，水浸超声波换能器，大圆柱体，小圆柱体，上面板，移动板，压力传感器，下面板，超声波收发器和小圆柱体连接板；

所述大圆柱体，所述小圆柱体和所述加载试验台的轴线位于同一直线上；

所述上面板与所述下面板之间设有两个竖直导柱，所述移动板位于所述上面板与所述下面板之间且与两个所述竖直导柱滑动连接，所述移动板的下表面设有所述压力传感器，所述小圆柱体连接板位于所述移动板与所述上面板之间，所述小圆柱体连接板的下表面设有压头，所述小圆柱体连接板的上表面设有所述小圆柱体，所述移动板的上表面设有连接所述压头的连接槽，所述上面板的下表面设有大圆柱体连接板，所述大圆柱体连接板的下表面设有连接所述大圆柱体的螺纹孔，所述上面板上设有用于所述水浸超声波换能器插入的水槽，所述水槽穿过所述大圆柱体连接板与所述螺纹孔连通；

所述压力显示器与所述压力传感器电连接，所述控制端与所述示波器电连接，所述示波器与所述超声波收发器电连接，所述超声波收发器与所述水浸超声波换能器电连接；

工作状态下，所述超声波收发器产生激励，将激励传递给位于所述水槽内的所述水浸超声波换能器，所述水浸超声波换能器产生超声波信号后扫描所述小圆柱体的上表面，并接受超声波返回信号，所述水浸超声波换能器将超声波返回信号转化为电压信号，发送给所述超声波收发器，所述超声波收发器将电压信号传递给所述示波器，所述示波器将电压信号显示并传递给所述控制端。

7、根据权利要求 6 所述的加载试验台，其特征在于：所述示波器的型号为

TDS3012C,所述水浸超声波换能器的型号为 OLYMPUS V312-0.25-10MHz-PTF,所述超声波收发器的型号为 PR5700。

8、根据权利要求 6 所述的加载试验台,其特征在于:所述小圆柱体的上表面具有与所述小圆柱体的侧面连接的圆角面,所述圆角面的圆角半径为 1.5mm。

5 9、根据权利要求 6 所述的加载试验台,其特征在于:所述螺纹孔与所述大圆柱体之间设有密封圈。

10、根据权利要求 6 所述的加载试验台,其特征在于:所述示波器与所述控制端通过 GPIB 线连接。

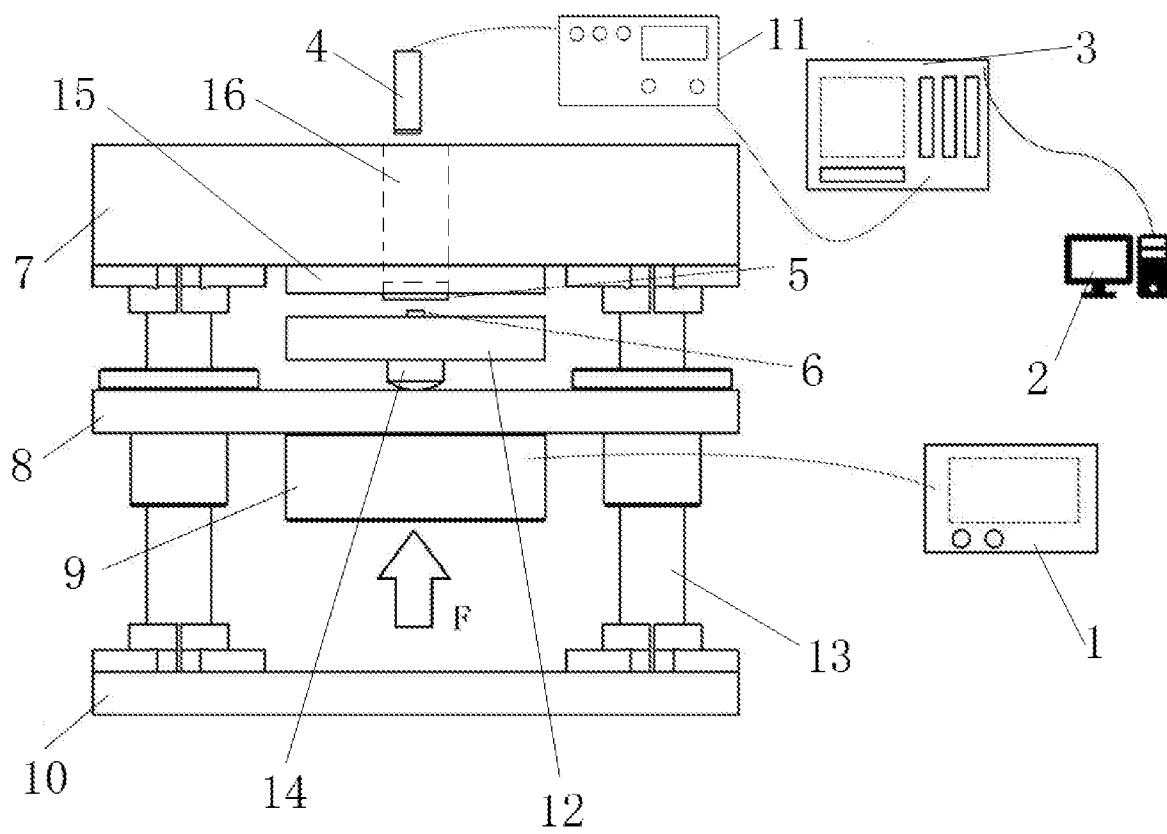


图 1

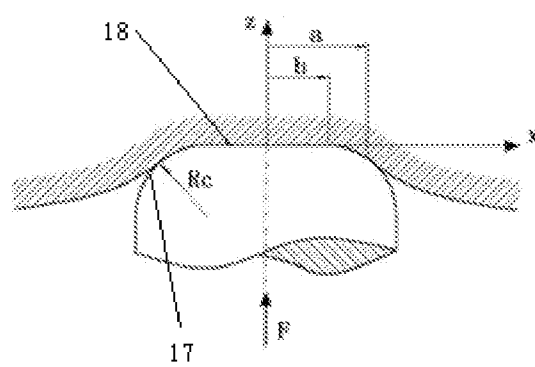


图 2

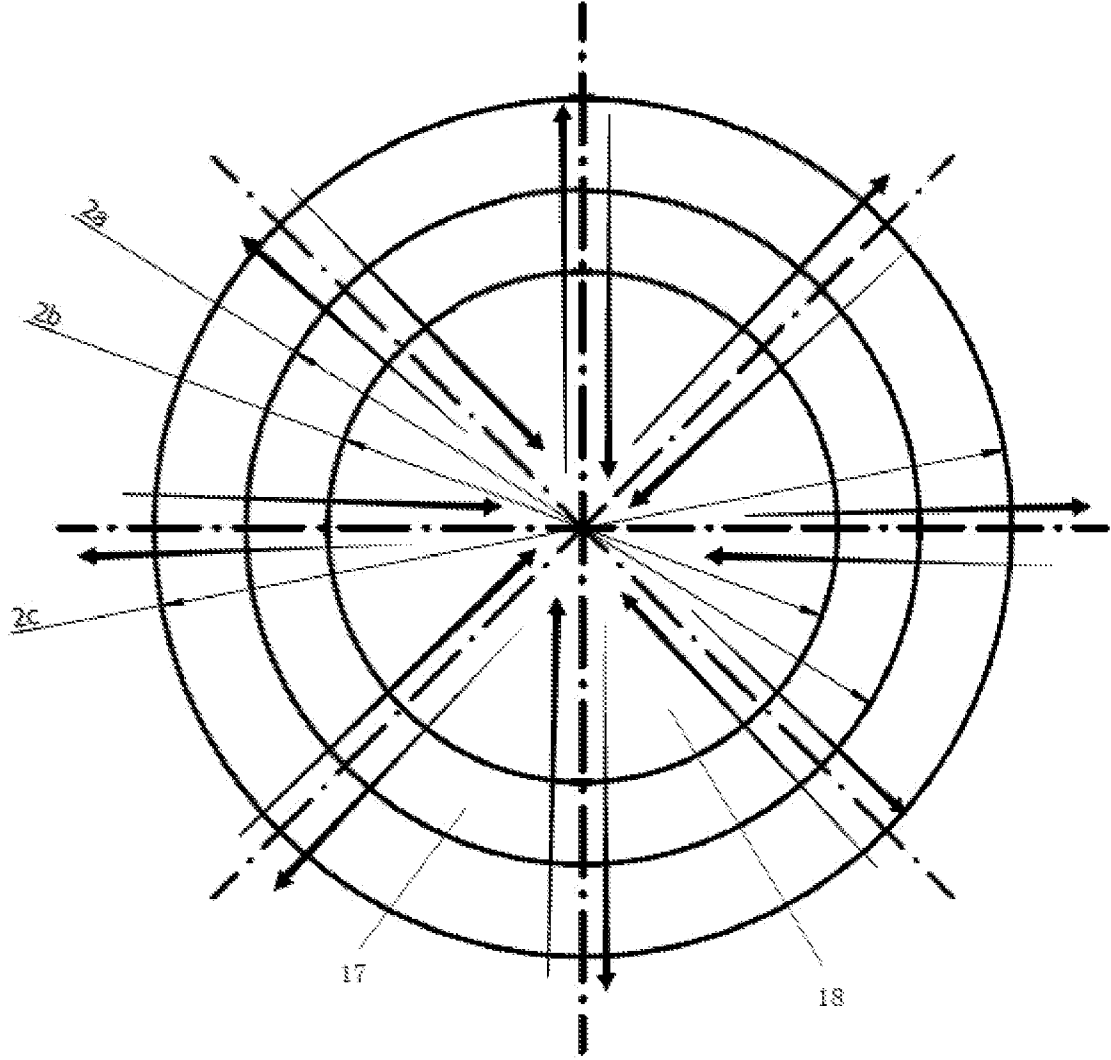


图 3

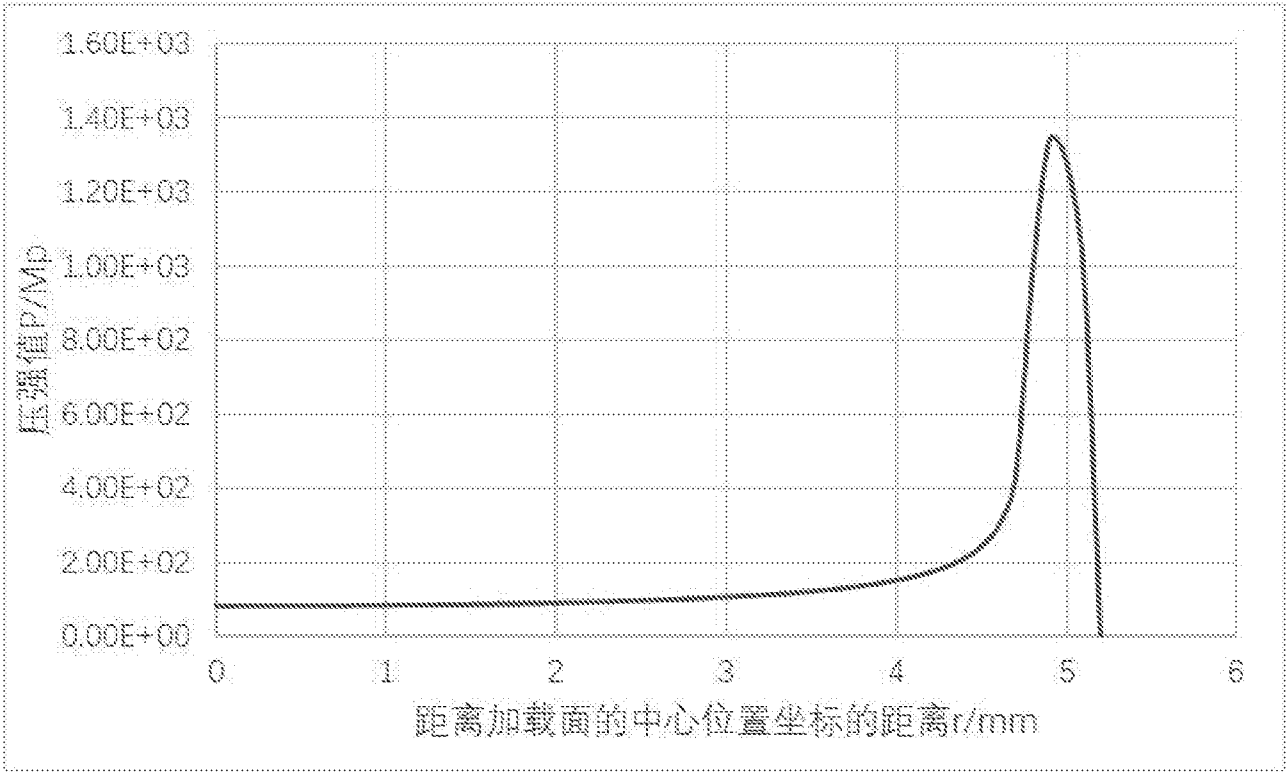


图 4

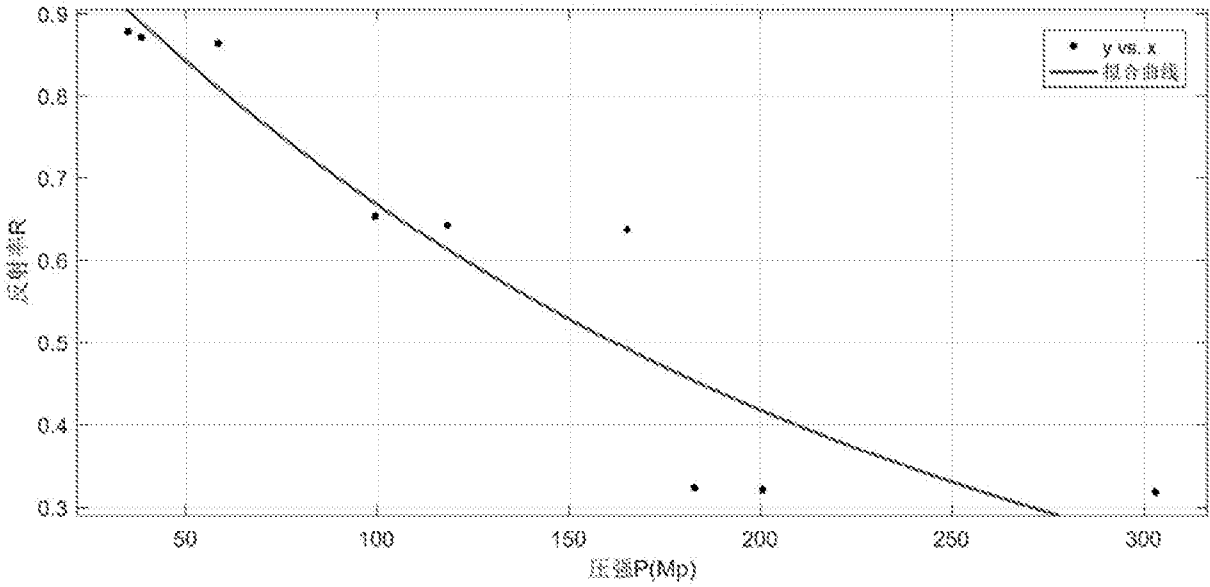


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/089951

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 3/08 (2006.01) i; G01L 1/25 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N; G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, VEN, CNTXT, CNKI, 圆角, 平面, 面, 球面, 超声, 反射, 压强, 压力, 弧, 加载, ball?, surface?, arc+, ultrasonic?, reflect+, press+, load+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106932277 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 07 July 2017 (07.07.2017), entire document	1-10
PX	CN 206696091 U (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 01 December 2017 (01.12.2017), entire document	1-10
Y	杜飞 等, “结合面参数的超声检测方法研究”, 西安交通大学学报, 47(3), 31 March 2013 (31.03.2013), pages 18-23, (DU, Fei et al., “Contact Parameter Estimation with Ultrasonic Method”, Journal of Xi'an Jiaotong University)	6-10
Y	CN 103822968 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY), 28 May 2014 (28.05.2014), entire document	6-10
A	CN 103616436 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY), 05 March 2014 (05.03.2014), entire document	1-10
A	CN 203455227 U (HUNAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 26 February 2014 (26.02.2014), entire document	1-10
A	CN 103278411 A (JILIN UNIVERSITY), 04 September 2013 (04.09.2013), entire document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 29 January 2018	Date of mailing of the international search report 02 February 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer ZHANG, Rui Telephone No. (86-10) 0512-88997601

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2017/089951

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103822968 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY), 28 May 2014 (28.05.2014), entire document	1-5
A	WO 2015151035 A1 (SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES BV), 08 October 2015 (08.10.2015), entire document	1-10
A	杜飞 等, “结合面参数的超声检测方法研究”, 西安交通大学学报, 47(3), 31 March 2013 (31.03.2013), pages 18-23, (DU, Fei et al., “Contact Parameter Estimation with Ultrasonic Method”, Journal of Xi'an Jiaotong University)	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/089951

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106932277 A	07 July 2017	None	
CN 206696091 U	01 December 2017	None	
CN 103822968 A	28 May 2014	CN 103822968 B	17 August 2016
CN 103616436 A	05 March 2014	CN 103616436 B	13 January 2016
CN 203455227 U	26 February 2014	None	
CN 103278411 A	04 September 2013	CN 103278411 B	13 April 2016
WO 2015151035 A1	08 October 2015	KR 20160138540 A	05 December 2016
		CN 106164640 A	23 November 2016
		US 2017176308 A1	22 June 2017
		EP 3126816 A1	08 February 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/089951

A. 主题的分类 G01N 3/08(2006.01)i; G01L 1/25(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01N; G01L 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS, VEN, CNTXT, CNKI, 圆角, 平面, 面, 球面, 超声, 反射, 压强, 压力, 弧, 加载, ball?, surface?, arc+, ultrasonic?, reflect+, press+, load+																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 106932277 A (大连理工大学) 2017年 7月 7日 (2017 - 07 - 07) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 206696091 U (大连理工大学) 2017年 12月 1日 (2017 - 12 - 01) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>杜飞等. "《结合面参数的超声检测方法研究》" 《西安交通大学学报》, 第47卷, 第3期, 2013年 3月 31日 (2013 - 03 - 31), 第18-23页</td> <td>6-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103822968 A (西安交通大学) 2014年 5月 28日 (2014 - 05 - 28) 全文</td> <td>6-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103616436 A (西安交通大学) 2014年 3月 5日 (2014 - 03 - 05) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 203455227 U (湖南科技大学) 2014年 2月 26日 (2014 - 02 - 26) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103278411 A (吉林大学) 2013年 9月 4日 (2013 - 09 - 04) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 106932277 A (大连理工大学) 2017年 7月 7日 (2017 - 07 - 07) 全文	1-10	PX	CN 206696091 U (大连理工大学) 2017年 12月 1日 (2017 - 12 - 01) 全文	1-10	Y	杜飞等. "《结合面参数的超声检测方法研究》" 《西安交通大学学报》, 第47卷, 第3期, 2013年 3月 31日 (2013 - 03 - 31), 第18-23页	6-10	Y	CN 103822968 A (西安交通大学) 2014年 5月 28日 (2014 - 05 - 28) 全文	6-10	A	CN 103616436 A (西安交通大学) 2014年 3月 5日 (2014 - 03 - 05) 全文	1-10	A	CN 203455227 U (湖南科技大学) 2014年 2月 26日 (2014 - 02 - 26) 全文	1-10	A	CN 103278411 A (吉林大学) 2013年 9月 4日 (2013 - 09 - 04) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 106932277 A (大连理工大学) 2017年 7月 7日 (2017 - 07 - 07) 全文	1-10																								
PX	CN 206696091 U (大连理工大学) 2017年 12月 1日 (2017 - 12 - 01) 全文	1-10																								
Y	杜飞等. "《结合面参数的超声检测方法研究》" 《西安交通大学学报》, 第47卷, 第3期, 2013年 3月 31日 (2013 - 03 - 31), 第18-23页	6-10																								
Y	CN 103822968 A (西安交通大学) 2014年 5月 28日 (2014 - 05 - 28) 全文	6-10																								
A	CN 103616436 A (西安交通大学) 2014年 3月 5日 (2014 - 03 - 05) 全文	1-10																								
A	CN 203455227 U (湖南科技大学) 2014年 2月 26日 (2014 - 02 - 26) 全文	1-10																								
A	CN 103278411 A (吉林大学) 2013年 9月 4日 (2013 - 09 - 04) 全文	1-10																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																						
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																									
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																								
2018年 1月 29日		2018年 2月 2日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员																								
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		张瑞																								
		电话号码 (86-10)0512-88997601																								

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103822968 A (西安交通大学) 2014年 5月 28日 (2014 - 05 - 28) 全文	1-5
A	WO 2015151035 A1 (SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES BV) 2015年 10月 8日 (2015 - 10 - 08) 全文	1-10
A	杜飞等. "《结合面参数的超声检测方法研究》" 《西安交通大学学报》，第47卷，第3期，2013年 3月 31日 (2013 - 03 - 31)， 第18-23页	1-5

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/089951

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	106932277	A	2017年 7月 7日	无			
CN	206696091	U	2017年 12月 1日	无			
CN	103822968	A	2014年 5月 28日	CN	103822968	B	2016年 8月 17日
CN	103616436	A	2014年 3月 5日	CN	103616436	B	2016年 1月 13日
CN	203455227	U	2014年 2月 26日	无			
CN	103278411	A	2013年 9月 4日	CN	103278411	B	2016年 4月 13日
WO	2015151035	A1	2015年 10月 8日	KR	20160138540	A	2016年 12月 5日
				CN	106164640	A	2016年 11月 23日
				US	2017176308	A1	2017年 6月 22日
				EP	3126816	A1	2017年 2月 8日