



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103350268 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 16

(21) 申请号 201310186497. 6

(22) 申请日 2013. 05. 20

(71) 申请人 中国石油天然气第一建设公司

地址 471023 河南省洛阳市关林镇龙门大道
87 号

申请人 西安交通大学

(72) 发明人 薛金保 张建勋 张卫之 王启宇
张晓亮 詹恒顺 牛靖 李清君
李军 周海燕 窦世涛

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

代理人 蔡和平

(51) Int. Cl.

B23K 9/095 (2006. 01)

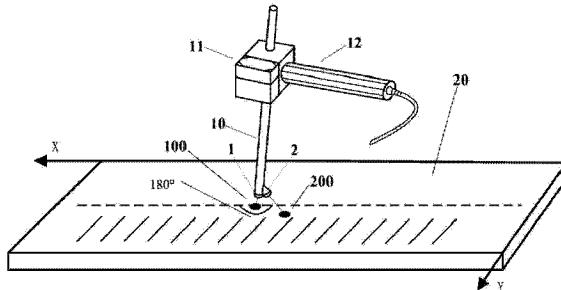
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检
测系统及方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于单目摄像机的模拟焊接
培训虚拟弧长检测系统及方法，包括模拟焊条、模
拟焊钳、模拟试板、单目摄像机和计算机；模拟
焊条安装在模拟焊钳上，模拟焊钳中装有用于检测
模拟焊条转角和倾斜角值的双倾角传感器；模拟
焊条的前端安装有主光源与辅光源，主光源与辅
光源的出射光之间的夹角为锐角；主光源的出射
光沿模拟焊条的长度方向传播；单目摄像机设置
于模拟试板下方；所述计算机连接单目摄像机和
双倾角传感器。



1. 一种基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,包括模拟焊条(10)、模拟焊钳(12)、模拟试板(20)、单目摄像机和计算机;

模拟焊条(10)安装在模拟焊钳(12)上,模拟焊钳(12)中装有用于检测模拟焊条(10)转角和倾斜角值的双倾角传感器(11);模拟焊条(10)的前端安装有主光源(1)与辅光源(2),主光源(1)与辅光源(2)的出射光之间的夹角为锐角;主光源(1)的出射光沿模拟焊条(10)的长度方向传播;

单目摄像机设置于模拟试板(20)下方;

所述计算机连接单目摄像机和双倾角传感器(11)。

2. 根据权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,所述模拟试板(20)为平板玻璃。

3. 根据权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,主光源(1)与辅光源(2)的出射光共而且夹角为45°。

4. 根据权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,主光源(1)与辅光源(2)为完全相同的激光二极管。

5. 根据权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,主光源(1)与辅光源(2)为出射光灰度值不同的激光二极管。

6. 根据权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,辅光源(2)安装在模拟焊条(11)上朝向模拟焊钳(12)把手的方向上。

7. 根据权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,其特征在于,模拟焊接时,主光源(1)与辅光源(2)的出射光在模拟试板(20)上形成主光斑(100)和辅光斑(200);所述计算机用于根据单目摄像机采集的数据识别出主光斑(100)和辅光斑(200)的坐标,计算机根据主光斑(100)和辅光斑(200)的坐标及双倾角传感器(11)采集的模拟焊条(10)的转角和倾斜角值实时计算出虚拟弧长。

8. 采用权利要求1所述的基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统进行虚拟弧长检测的方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 操作者使用模拟焊钳(12)在模拟试板(20)上方进行模拟焊接,模拟焊条(10)前端的主光源(1)和辅光源(2)发出的光照射到模拟试板(20)上形成主光斑(100)和辅光斑(200);固定在模拟试板(20)下方的单目摄像机实时采集图像;

2) 计算机实时调用单目摄像机,获得单目摄像机实时采集的一帧图像;

3) 计算机识别出所采集的一帧图像中主光斑(100)和辅光斑(200)的坐标;

4) 计算机根据步骤3)获得的主光斑(100)和辅光斑(200)的坐标,以及双倾角传感器(11)实时传输给计算机的模拟焊条(10)的转角和倾斜角数据,根据公式7计算获得实时虚拟弧长H:

$$H = \frac{D \cos \mu}{\tan(\theta + \varphi) - \tan \varphi} - h_0 \cos \varphi \cos \mu \quad (7)$$

其中,D为主光斑(100)和辅光斑(200)之间的距离,h₀为虚焦点0到主光源(1)前端的距离,θ为主光源(1)与辅光源(2)之间的夹角,φ为模拟焊条(10)转角,μ为模拟焊条(10)倾斜角度。

9. 根据权利要求 8 所述的虚拟弧长检测的方法,其特征在于,主光源(1)和辅光源(2)为灰度值不同的光源;步骤 3) 中从单目摄像机采集的实时图像中,对最亮的两个点进行灰度比较,区分出主光斑(100)与辅光斑(200)。

10. 根据权利要求 8 所述的虚拟弧长检测的方法,其特征在于,辅光源(2)安装在模拟焊条(11)上朝向模拟焊钳(12)把手的方向上。

基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于机器视觉传感领域,特别涉及一种空间位置检测方法。

背景技术

[0002] 焊接技术是支持现代工业发展的一门重要学科,它被广泛的应用于造船,汽车制造以及航空航天等领域。尽管各种自动焊与半自动焊发展迅速,但是针对我国国情,手工电弧焊仍然有着比较广泛的应用。因为,相对于自动焊与半自动焊,手工电弧焊更为灵活、方便并且成本更低。但是随着经济的快速发展,我国的一些发达地区出现了用工荒,在焊接领域则体现为焊接工人整体数量下降的同时熟练焊工比例在减少。该现象给传统的焊接培训带来了挑战,如何缩短焊工培训周期,并快速培养出熟练焊工成为一个重要课题。

[0003] 虚拟现实技术和数字模拟技术的发展为焊接培训领域带来了新的思路—模拟培训。传统的焊接培训周期长、污染大、损耗高,直接导致培训成本较高。同时,由于手工电弧焊有一定危险性,容易给初级焊接学员带来心里压力,使得他们不能快速进入学习状态。模拟培训在焊接培训领域的应用可以很好的解决上述问题。首先,模拟焊接培训低损耗、无污染,不仅符合政府节能减排的要求,还能极大的降低培训成本。其次,采用模拟焊接设备辅助教师的模式对学员进行教学能极大的提高师资的利用率,彻底打破传统焊接培训中一对一的低效培训模式。最后,模拟焊接培训设备可以综合多媒体技术,使得焊接教学更加生动、有趣,并且能够让学员有针对性的学习,提高了学习效率与效果。

[0004] 在国内,哈尔滨工业大学基于 1987 年提出的虚拟焊接的概念成功研制出第一台模拟焊接设备样机。2008 年,上海师范大学提出的“电弧焊平板焊接仿真中焊条空间实时定位技术”直接服务于焊接培训。2009 年,装甲兵技术学院的刘胜长等人发表论文“手工电弧焊操作模拟训练系统研究”,为模拟焊接培训领域带来新思路。在国外,德国、美国较早的开始这方面的研究工作,法国、澳大利亚、日本等国也在上世纪末开始相关研究,并相继取得一定成果。

[0005] 西安交通大学焊接研究所已经研发出了“焊接操作模拟器”样机 HTS-08,并于 2008 年获得国家发明专利。在此基础之上开发人员对样机 HTS-08 进行逐步 改进与完善,并相继开发出 HTS-09 实验机型以及 HTS-10 改良机型。

[0006] HTS-10 主要由检测模块,3D 场景模块,评价模块以及理论考试模块组成。检测模块硬件主要由高清晰 CCD 工业摄像机和模拟焊钳及试板组成,集成高精度倾角传感器,并结合先进的图像处理技术,能够准确的、实时的检测到焊工操作的位置信息,实现检测精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 。3D 场景模块基于虚拟现实技术和有限元仿真模拟进行三维场景建模,实现焊条的烧损,发出弧光以及产生飞溅等逼真效果,给使用者以良好的体验。评价模块利用专家系统实现包括实时评价,焊接倾角评价,运条轨迹分析以及缺陷预测等功能,可以给出比较可信的评价结果。

[0007] 电弧长度(简称弧长)的变化会引起电弧电压的变化,影响焊缝的熔宽和熔深,从而影响焊缝成形与焊接质量;因此弧长是虚拟焊接操作中需要被准确测量的一个参量。在

虚拟焊接培训中,弧长可以被认为是三维空间中 Z 坐标方向上的一个度量,也即焊接位置的高度。然而,现有技术中,模拟焊接时虚拟弧长的检测设备结构复杂且检测精度不高,影响模拟焊接的培训质量。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于,提供一种基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统及方法,简便、快捷、准确的检测出模拟焊接时模拟弧长。

[0009] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0010] 一种基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统,包括模拟焊条、模拟焊钳、模拟试板、单目摄像机和计算机;模拟焊条安装在模拟焊钳上,模拟焊钳中装有用于检测模拟焊条转角和倾斜角值的双倾角传感器;模拟焊条的前端安装有主光源与辅光源,主光源与辅光源的出射光之间的夹角为锐角;主光源的出射光沿模拟焊条的长度方向传播;单目摄像机设置于模拟试板下方;所述计算机连接单目摄像机和双倾角传感器。

[0011] 本发明进一步的改进在于:所述模拟试板为平板玻璃。

[0012] 本发明进一步的改进在于:主光源与辅光源的出射光共面且夹角为 45°。

[0013] 本发明进一步的改进在于:主光源与辅光源为完全相同的激光二极管。

[0014] 本发明进一步的改进在于:主光源与辅光源为出射光灰度值不同的激光二极管。

[0015] 本发明进一步的改进在于:辅光源安装在模拟焊条上朝向模拟焊钳把手的方向上。

[0016] 本发明进一步的改进在于:模拟焊接时,主光源与辅光源的出射光在模拟试板上形成主光斑和辅光斑;所述计算机用于根据单目摄像机采集的数据识别出主光斑和辅光斑的坐标,计算机根据主光斑和辅光斑的坐标及双倾角传感器采集的模拟焊条的转角和倾斜角值实时计算出虚拟弧长。

[0017] 基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统进行虚拟弧长检测的方法,包括以下步骤:

[0018] 1) 操作者使用模拟焊钳在模拟试板上方进行模拟焊接,模拟焊条前端的主光源和辅光源发出的光照射到模拟试板上形成主光斑和辅光斑;固定在模拟试板下方的单目摄像机实时采集图像;

[0019] 2) 计算机实时调用单目摄像机,获得单目摄像机实时采集的一帧图像;

[0020] 3) 计算机识别出所采集的一帧图像中主光斑和辅光斑的坐标;

[0021] 4) 计算机根据步骤 3) 获得的主光斑和辅光斑的坐标,以及双倾角传感器实时传输给计算机的模拟焊条的转角和倾斜角数据,根据公式 7 计算获得实时虚拟弧长 H:

[0022]

$$H = \frac{D \cos \mu}{\tan(\theta + \varphi) - \tan \varphi} - h_0 \cos \varphi \cos \mu \quad (7)$$

[0023] 其中,D 为主光斑和辅光斑之间的距离, h_0 为虚焦点 O 到主光源前端的距离, θ 为主光源与辅光源之间的夹角, φ 为模拟焊条转角, μ 为模拟焊条倾斜角度。

[0024] 本发明进一步的改进在于:主光源和辅光源为灰度值不同的光源;步骤 3) 中从单目摄像机采集的实时图像中,对最亮的两个点进行灰度比较,区分出主光斑与辅光斑。

[0025] 本发明进一步的改进在于：辅光源安装在模拟焊条上朝向模拟焊钳把手的方向上。

[0026] 相对于现有技术，本发明具有以下有益效果：

[0027] 1) 本系统采用一个摄像机进行图像采集，相对于双目系统需要同时处理两幅图像而言其处理速度更快；

[0028] 2) 单目摄像机被固定在封闭的环境中，只接受透过试板上表面进入摄像机的光线，其受外环境干扰小，稳定性高；

[0029] 3) 相对于双目摄像机中专门一个摄像机通过水平方向采集图像计算得到高度值得方法，单目系统的采集精度更高，通过线性拟合，单目摄像机在高度方向的检测精度可达到 1mm；

[0030] 4) 设备仅采用一个摄像机和双倾角传感器作为传感系统，设备体积减小，成本降低。

附图说明

[0031] 图 1 为模拟焊条端部的示意图；

[0032] 图 2 为模拟焊条倾角和转角为零时光线的几何关系示意图；

[0033] 图 3 为模拟焊条倾角为零，转角不为零时光线的几何关系示意图；

[0034] 图 4 为倾斜角度分解图示意图；

[0035] 图 5 为模拟焊条倾角和转角均不为零时光线的几何关系示意图；

[0036] 图 6 为本发明虚拟弧长检测系统示意图。

具体实施方式

[0037] 请参阅图 1 所示，本发明基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测系统，包括模拟焊条 10、模拟焊钳 12、模拟试板 20、单目摄像机和计算机。本发明在模拟焊条 10 头部设计互成 45° 的双光点激光发生装置，使其在模拟试板 20 (平板玻璃)上打出两个光斑，两个光斑的坐标通过设置于模拟试板 20 底部的单目摄像机进行采集，采集的坐标数据传输给计算机；模拟焊条 10 安装在模拟焊钳 12 上，模拟焊钳 12 中装有双倾角传感器 11，用于检测模拟焊条 10 横滚角和俯仰角值；模拟焊钳 12 上的双倾角传感器 11 采集的模拟焊条 10 横滚角和俯仰角值实时传送给计算机。计算机结合两个光源的位置、光线夹角、焊条倾角参数计算模拟焊条 10 端部距模拟试板 20 的高度，即虚拟弧长。

[0038] 主光源 1 与辅光源 2 采用完全相同的激光二极管，运行和使用的环境也完全相同，因此单纯依靠单目摄像机来辨识主光斑与辅光斑是比较困难的。通过观察焊工操作时的使用习惯可以发现，无论操作者使用左手还是右手，模拟焊钳 12 的把手都是朝向操作者这一方的。如果将辅光源 2 安装在模拟焊条 11 上朝向模拟焊钳 12 把手的这一方向则能够保证辅光斑 200 总是位于焊缝的单侧。如图 6，x 方向为焊接方向，y 方向为垂直焊接方向；穿过主光斑 100(x1,y1) 的虚线为焊缝，正常操作时辅光斑 200 会在在焊缝单侧 180° 范围内，也就是图中阴影部分。根据模拟试板平面的坐标系，则有辅光斑 200 (x2,y2) 的坐标 y2 大于主光斑的坐标 y1。因此，在一定的硬件设计安装基础上，利用焊工的操作习惯，通过比较两光斑坐标 y 值就可以实现主光斑 100 与辅光斑 200 的辨识。

[0039] 主光源 1 和辅光源 2 还可以采用灰度值不同的光源,从单目摄像机采集的实时图像中,对最亮的两个点进行灰度比较,就可以区分出主光斑 100 与辅光斑 200。

[0040] 为了简化数学模型、节约安装空间,主光源 1 与辅光源 2 安装在同一平面内,也就是说主光源 1 发出的光线与辅光源 2 发出的光线共面。并且主光源 1 沿模拟焊条 10 方向安装,其发出的光线与模拟焊条 10 共线,并且主光源 1 与辅光源 2 的夹角为 45°,如图 1 所示。

[0041] 1、虚拟弧长检测公式推导

[0042] 1) 倾角和转角为零的情况

[0043] 当倾角和转角为零时,模拟焊条 10 垂直于水平面,也即主光源 1 垂直于水平面,则有如图 2 的情况。两光线有虚焦点 0,它到主光源 1 前端的距离 h_0 是固定的,两光线之间的夹角 θ 由光源安装位置决定,是已知的;根据图像检测方法,主光源 1 与辅光源 2 打出的主光斑 100 和辅光斑 200 的坐标是可以计算出来的,因此两光斑之间的距离 D 是可以计算出来的。则根据式就可以求出弧长 H。

$$[0044] H = h - h_0 = \frac{D}{\tan \theta} - h_0$$

[0045] 其中, D 为主光源 1 与辅光源 2 照射到模拟试板 20 上的两个光斑之间的距离; θ 为主光源 1 与辅光源 2 之间的夹角; h_0 为虚焦点 0 到主光源 1 前端的距离; h 为虚焦点 0 到主光源 1 打出的主光斑的距离。

[0046] 2) 倾角为零转角不为零的情况

[0047] 在此情况下,由于倾角仍为零,因此两光线所在平面仍然垂直于水平面,则有如图 3 的情况。其中 φ 为转角,可以由倾角传感器 11 读出。由图中几何关系可以得出式和(3)。

[0048]

$$\frac{D+P}{h} = \tan(\theta + \varphi)$$

[0049]

$$\frac{P}{h} = \tan \varphi \quad (3)$$

[0050]

$$H = \left(\frac{h}{\cos \varphi} - h_0 \right) \cos \varphi \quad (4)$$

[0051] 合并式、(3) 和 (4),消去 P 和 h 得到:

[0052]

$$H = \frac{D}{(\tan(\theta + \varphi) - \tan \varphi)} - h_0 \cos \varphi \quad (5)$$

[0053] 式(5)为倾角为零转角不为零情况下的弧长计算公式。

[0054] 3) 倾角和转角均不为零的情况

[0055] 此情况代表了弧长测量的经常状态,推导出的公式将具有普遍意义。空间中模拟焊条的任意一个倾斜的角度都可以投影并分解为倾角和转角上的对应角度(如图 4)。因此,通过分解首先进行转角方向的倾斜,则可以得出式(5)。在此基础上,如图 5 进行倾角方向

的倾斜,倾斜角度为 μ ,则可以得出关系式(6),化简得出最终公式(7)。

[0056]

$$H = H \cos \mu = \frac{D \cos \mu}{\tan(\theta + \varphi) - \tan \varphi} - h_0 \cos \varphi \cos \mu \quad (6)$$

[0057] 化简:

[0058]

$$H = \frac{D \cos \mu}{\tan(\theta + \varphi) - \tan \varphi} - h_0 \cos \varphi \cos \mu \quad (7)$$

[0059] 式(7)等号右边的各个参数都是已知的或可测的,据此就可以求出弧长H。

[0060] 请参阅图1至图6所示,本发明基于单目摄像机的模拟焊接培训虚拟弧长检测方法,包括以下步骤:

[0061] 1)操作者使用模拟焊钳12在模拟试板20上方进行模拟焊接,模拟焊条10前端的主光源1和辅光源2发出的光照射到模拟试板20上形成主光斑100和辅光斑200;固定在模拟试板20下方的单目摄像机实时采集图像;

[0062] 2)计算机实时调用单目摄像机,获得单目摄像机实时采集的一帧图像;

[0063] 3)计算机识别出所采集的一帧图像中主光斑100和辅光斑200的坐标;

[0064] 4)计算机根据步骤3获得的主光斑100和辅光斑200的坐标,以及双倾角传感器11实时传输给计算机的模拟焊条10的转角和倾斜角数据,根据公式7计算获得实时虚拟弧长H:

[0065]

$$H = \frac{D \cos \mu}{\tan(\theta + \varphi) - \tan \varphi} - h_0 \cos \varphi \cos \mu \quad (7)$$

[0066] 其中,D为主光斑100和辅光斑200之间的距离, h_0 为虚焦点0到主光源1前端的距离, θ 为主光源1与辅光源2之间的夹角, φ 为模拟焊条10转角, μ 为模拟焊条10倾斜角度;

[0067] 5)重复步骤2)-4),实时循环得到焊接过程的实时虚拟弧长及模拟焊条高度信息。

[0068] 主光源1和辅光源2还可以采用灰度值不同的光源,步骤3)中从单目摄像机采集的实时图像中,对最亮的两个点进行灰度比较,就可以区分出主光斑100与辅光斑200。当然也可以按照机械的方法,将辅光源2安装在模拟焊条11上朝向模拟焊钳12把手的这一方向,则能够保基本保证辅光斑200总是位于焊缝的单侧,以此也可以区分出主光斑100与辅光斑200。

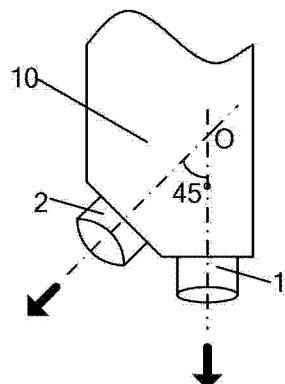


图 1

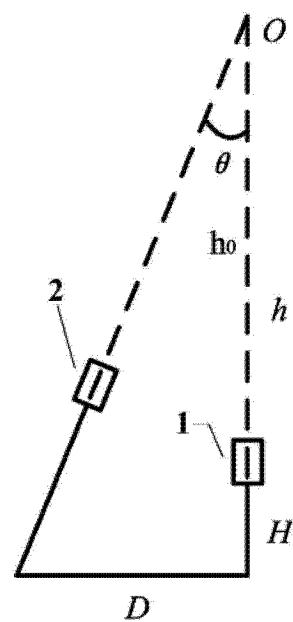


图 2

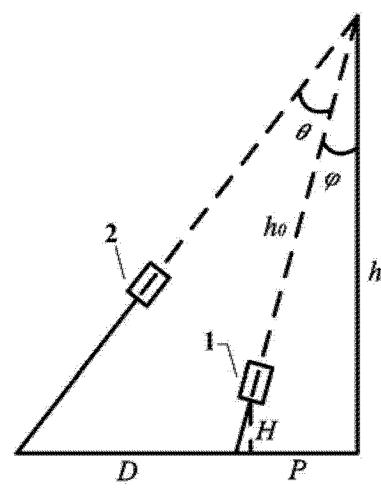


图 3

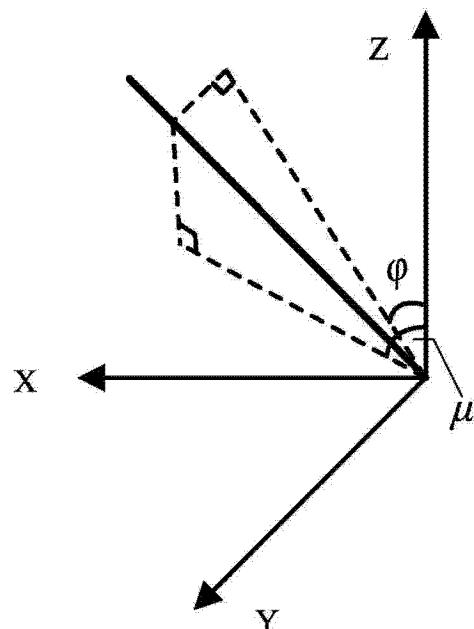


图 4

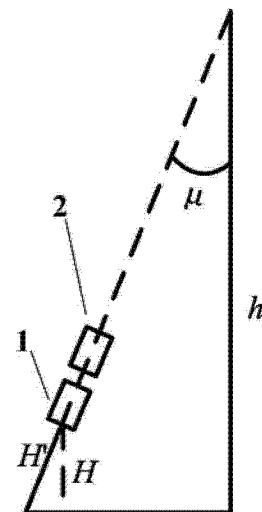


图 5

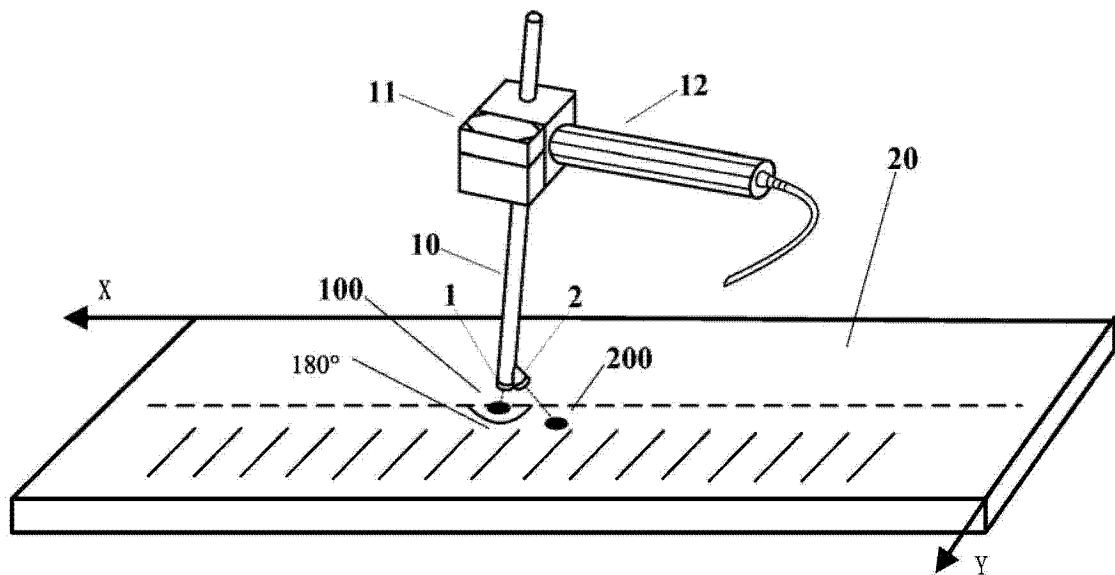


图 6