



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101713756 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 30

(21) 申请号 200910244001. X

(22) 申请日 2009. 12. 24

(73) 专利权人 首都师范大学

地址 100037 北京市西三环北路 105 号

专利权人 北京维泰凯信新技术有限公司

(72) 发明人 陶宁 王迅 曾智 冯立春

张存林 陈大鹏

(74) 专利代理机构 北京科龙寰宇知识产权代理

有限责任公司 11139

代理人 孙皓晨 贺华廉

(51) Int. Cl.

G01N 25/72 (2006. 01)

G01N 29/34 (2006. 01)

(56) 对比文件

董正宏等. 非接触空气耦合式超声检测技术研究及应用. 《无损探伤》. 2007, 第 31 卷 (第 2

期), 第 1-6 页.

陈大鹏. 超声脉冲及超声脉冲相位热像技术用于无损检测的实验研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》. 2009, (第 9 期), 正文第 12-19, 25-29 页.

审查员 鲍旭日

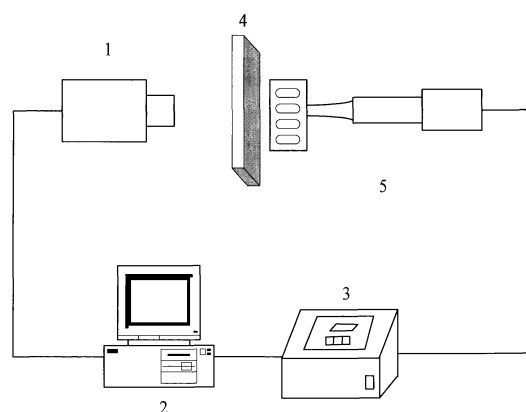
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 5 页

(54) 发明名称

非接触超声热激励红外热成像无损检测方法和系统

(57) 摘要

一种非接触超声热激励红外热成像无损检测系统,用于检测试件,包括超声发射装置,该试件置于该超声发射装置的下方或侧下方;红外热像仪,放置于该试件的周围;计算机,与该红外热像仪相连;超声控制器,连接该超声发射装置和该计算机。一种非接触超声热激励红外热成像无损检测方法,包括如下步骤(1) 将被检测试件放置在超声发射装置的超声枪头的下方或侧下方,超声控制器设定所需参数;(2) 超声发射装置接收到超声控制器的控制信号后,向试件发射声能;(3) 当足够的超声声能耦合进试件,通过红外热像仪连续观测和记录试件表面的温场变化;(4) 利用计算机采集红外热像仪得到的数据,进行数据处理和分析,对试件内部缺陷的定量诊断。



1. 一种采用非接触超声热激励红外热成像无损检测系统的非接触超声热激励红外热成像无损检测方法,其特征在于,包括如下步骤

(1) 将被检测试件放置在超声发射装置的超声枪头的下方或侧下方,超声控制器设定所需参数;所述超声枪头的横向宽度大于与所述超声发射装置连接部分的宽度,且所述超声枪头的两面具有空心槽;

(2) 超声发射装置接收到超声控制器的控制信号后,向试件发射声能,该超声发射装置与该试件之间以空气为耦合介质,实施非接触耦合;

(3) 当足够的超声声能耦合进试件,通过红外热像仪连续观测和记录试件表面的温场变化;

(4) 利用计算机采集红外热像仪得到的数据,进行数据处理和分析,对试件内部缺陷的定量诊断。

2. 如权利要求1所述的非接触超声热激励红外热成像无损检测方法,其特征在于,步骤(2)中超声发射装置的超声换能器接收到超声控制器发出的20KHz的电信号后,把20KHz的电信号转化为同频率的机械振动,传送到超声增益器,超声增益器将信号进行调幅后传送到超声枪头,超声枪头将该20KHz的超声信号发射到试件。

3. 如权利要求1所述的非接触超声热激励红外热成像无损检测方法,其特征在于,检测时设置峰值功率100%,超声作用时间10ms-5s。

## 非接触超声热激励红外热成像无损检测方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无损探伤检测技术领域,特别是涉及一种非接触超声激励的红外成像无损检测方法和系统。

### 背景技术

[0002] 红外热波无损检测技术是二十世纪九十年代后发展起来的一种无损检测技术。此方法以热波理论为理论依据,通过主动对被检测物体施加特殊模式的可控热激励、并采用红外热像仪连续观察和记录物体表面的温场变化,并通过现代计算机技术及图像信息处理技术进行时序热波信号的探测、采集、数据处理和分析,以实现物体内部缺陷或损伤的定量诊断。

[0003] 红外热波无损检测技术的关键技术之一是针对各种材质、结构的被检物以及缺陷和损伤的类型,选择不同特性的热源对物体进行周期、脉冲、直流等函数形式的加热。其中超声红外无损检测方法是采用超声波对被检物体加热,并用红外热像仪记录物体表面温场的变化。与闪光灯脉冲激励红外热像无损检测方法相比,超声波仅加热缺陷部位,而对其它没有缺陷的部分几乎不加热,因此热成像所得的缺陷信号强,具有很高的灵敏度,可以检测到更小的裂缝,或者完全闭合、垂直的裂缝。

[0004] 近年来,美国韦恩州立大学已将上述利用超声激励红外成像检测方法申请了一系列专利 US6236049、US6437334、US7122801 等。如 US7122801 为采用一种缺陷探测系统来探测结构中的缺陷,缺陷探测系统包括:一个声源,以应用声音输入信号到结构中,声源连接该欲检测的结构,以在结构中引发声学的混乱,使得结构以一种无序的方式振动,并加热缺陷;一个连接器连接声源和该结构,所述连接器采用硬质材料制成,并具有预先知道的厚度,来帮助在该结构中引起声学混乱;一个热成像照相机,用来产生结构的热成像以识别被加热了的缺陷。

[0005] 但是这种检测方法需要使用耦合剂或耦合物质,也需要接触被检物并施加一定压力,对于一些不允许接触耦合物质,易碎、形状不规则不易接触等材料的检测具有很大的局限性。且接触式超声激励红外成像检测有可能由于试件形状不规则,夹具不容易固定、热像仪采集位置不易取等原因造成检测的失败,试件也只能放在枪头下直接接触注入能量,有可能损坏试件本身。

[0006] 另外,美国 Joseph N. Zalameda 等人提出了一种空气耦合声振激励红外成像无损检测方法,该方法利用扬声器进行声振激励加热,红外热像仪获取热图,应用于较薄蜂窝复合结构材料检测的研究。这种方法采用了低频的声源作为激励源,虽然不需要接触被检物,但是具有噪音大、能量低的缺点。

### 发明内容

[0007] 本发明提供一种非接触超声热激励红外热成像无损检测方法和系统,以解决上述背景技术中存在的,现有检测方法和系统容易损坏试件,检测成功率不高,且噪音大能量低

的技术问题。

- [0008] 一种非接触超声热激励红外热成像无损检测系统,用于检测试件,包括:
- [0009] 超声发射装置,该试件置于该超声发射装置的下方或侧下方;
- [0010] 红外热像仪,放置于该试件的周围;
- [0011] 计算机,与该红外热像仪相连;
- [0012] 超声控制器,连接该超声发射装置和该计算机。
- [0013] 其中,该超声发射装置连接气泵。
- [0014] 其中,该超声发射装置包括依次连接的超声枪头、超声增益器和超声换能器,该超声换能器连接该超声控制器。
- [0015] 其中,该超声枪头发出的超声频率为 20KHz。
- [0016] 其中,该超声枪头采用钛合金制作。
- [0017] 其中,该超声枪头的长度是 20KHz 的超声波在其中传播时波长的一半。
- [0018] 一种采用非接触超声热激励红外热成像无损检测系统的非接触超声热激励红外热成像无损检测方法,包括如下步骤:
- [0019] (1) 将被检测试件放置在超声发射装置的超声枪头的下方或侧下方,超声控制器设定所需参数;
- [0020] (2) 超声发射装置接收到超声控制器的控制信号后,向试件发射声能;
- [0021] (3) 当足够的超声声能耦合进试件,通过红外热像仪连续观测和记录试件表面的温场变化;
- [0022] (4) 利用计算机采集红外热像仪得到的数据,进行数据处理和分析,对试件内部缺陷的定量诊断。
- [0023] 其中,步骤(2)中超声发射装置的超声换能器接收到超声控制器发出的 20KHz 的电信号后,把 20KHz 的电信号转化为同频率的机械振动,传送到超声增益器,超声增益器将信号进行调幅后传送到超声枪头,超声枪头将该 20KHz 的超声信号发射到试件。
- [0024] 其中,检测时设置峰值功率 100%,超声作用时间 10ms-5s。
- [0025] 本发明通过上述技术方案,达到的有益技术效果在于,具有可实现非接触、完全无损的可控制可调节的激励方式;被检物的放置位置较灵活;声源频率高、噪音低、能量大,只对缺陷处加热,热激励产生的缺陷信号强,易判读;对垂直于和平行于结构表面的裂纹都敏感;可适用于易碎、形状不规则不易接触等材料的缺陷检测。

#### 附图说明

- [0026] 图 1 为非接触超声热激励红外热波无损检测系统示意图;
- [0027] 图 2 为试件水平放置在振动适配器下方检测时示意图;
- [0028] 图 3 为试件水平放置在振动适配器下方检测时表面温场热图;
- [0029] 图 4 为试件竖直放置在振动适配器侧下方检测时的示意图;
- [0030] 图 5 为试件竖直放置在振动适配器侧下方检测时的表面温场热图;
- [0031] 图 6 为另一种试件竖直放置在振动适配器侧下方检测出的表面温场热图。
- [0032] 附图标记说明
- [0033] 1- 红外热像仪;2- 计算机;3- 超声控制器;4- 试件;5- 超声发射装置。

## 具体实施方式

[0034] 为了使本发明的形状、构造以及特点能够更好地被理解,以下将列举较佳实施例并结合附图进行详细说明。

[0035] 本发明的非接触超声热激励红外热成像无损检测系统和检测方法,其检验的原理为,由超声控制器 3 控制超声发射装置 5 发出预先设定频率的超声波,在超声发射装置 5 的超声枪头和被检试件 4 之间以空气为耦合介质,实施非接触耦合,将超声波短脉冲作用在被检试件 4 表面。

[0036] 声波传播至试件 4 后,如果被检试件 4 存在裂纹、未熔合、分层等缺陷时,在缺陷部位由于摩擦作用和热弹效应、迟滞效应等作用,引起机械能显著衰减,并产生热量,从而在缺陷处及相邻区域的温度明显升高。当缺陷位于被检测试件 4 表面或近表面,其表面温度场的变化可以用红外热像仪 1 观察和记录,利用计算机 2 控制得到试件 4 表面的时序热波信号,使用根据热波理论模型和现代图像处理理论模型而研制的专用计算机软件进行实时图像信号处理和分析,即可得到无损检测结果。

[0037] 图 1 为非接触超声热激励红外热波无损检测系统示意图,如图 1 所示,本发明的非接触超声热激励红外热成像无损检测系统包括超声发射装置 5,试件 4 置于超声发射装置 5 的下方或者侧下方,将超声能量作用于试件 4,引起试件 4 缺陷部位的振动摩擦,产生热量,从而引起物体表面温度分布不同。由于本发明的非接触无损检测不需要与试件 4 接触,仅需采用空气耦合,故相较于接触式的检测方式,其试件 4 可以摆放于超声发射装置 5 的下方或者侧下方,其摆放位置可以更随意。

[0038] 红外热像仪 1 放置于试件 4 的周围,用以实时记录试件 4 表面温度场的变化。红外热像仪 1 连接计算机 2,将记录到的试件 4 表面的温度场传送到计算机 2。红外热像仪 1 可以选用法国 cedis 的 JADEIII,图像大小为  $320 \times 240$  像素,工作波段为  $3.7 \mu\text{m}$ – $4.8 \mu\text{m}$ ,采集频率与采集时间可以实时调整。可以采用其他品牌(如 Flir)同类型产品。

[0039] 计算机 2 用于热波信号采集,并对所获得的热波时序信号进行计算处理,从而获得材料内部的缺陷损伤或非均匀信息,可实现对被检物非接触、非侵入的无损检测和探伤。

[0040] 超声发射装置 5 连接到超声控制器 3,超声控制器 3 主要有两个作用,一是可以实时调节超声发射装置 5 作用力的大小,超声作用时间,以及超声发射装置 5 振幅等参数,二是可以把 200V、50Hz 的电信号转化为 20KHz 的电信号并将其传给超声发射装置 5。超声控制器 3 也连接到计算机 2。

[0041] 工作时,超声控制器 3 控制超声发射装置 5 发出超声能量,超声发射装置 5 将超声能量作用于试件 4,引起试件 4 缺陷部位的振动摩擦,产生热量,引起物体表面温度分布不同,该物体的温度图像由红外热像仪 1 记录并传递到计算机 2,在计算机 2 上形成表面温场热图。

[0042] 在本发明的另一实施例中,无损检测系统包括超声发射装置 5,试件 4 置于超声发射装置 5 的下方或者侧下方,将超声能量作用于试件 4,引起试件 4 缺陷部位的振动摩擦,产生热量,从而引起物体表面温度分布不同。

[0043] 红外热像仪 1 放置于试件 4 的周围,用以实时记录试件 4 表面温度场的变化。红外热像仪 1 连接计算机 2,将记录到的试件 4 表面的温度场传送到计算机 2。

[0044] 计算机 2 用于热波信号采集,并对所获得的热波时序信号进行计算处理,从而获得材料内部的缺陷损伤或非均匀信息,可实现对被检物非接触、非浸入的无损检测和探伤。

[0045] 超声发射装置 5 连接到超声控制器 3,超声控制器 3 主要有两个作用,一是可以实时调节超声发射装置 5 作用力的大小,超声作用时间,以及超声发射装置 5 振幅等参数,二是可以把 200V、50Hz 的电信号转化为 20KHz 的电信号并将其传给超声发射装置 5。超声控制器 3 也连接到计算机 2。

[0046] 超声发射装置 5 主要由依次连接的超声枪头、超声增益器和超声换能器所组成,装置与一个普通气泵相连,提供超声枪头所需的压力。超声换能器连接超声控制器 3,超声换能器接收到超声控制器 3 发出的 20KHz 的电信号后,再把 20KHz 的电信号转化为同频率的机械振动,传送到超声增益器。超声增益器将信号进行调幅后传送到超声枪头,超声枪头发出该 20KHz 的超声。

[0047] 超声枪头由金属制成,可以采用钛合金制作。当超声枪头传递超声波时产生共振,超声枪头的振幅=超声换能器表面振幅×超声增益器增益×超声枪头增益。枪头的长度都是做成固定的长度。

[0048] 如果超声枪头的长度较小的话,振动能量以纵向传播为主,横向可以忽略,有利于无损检测;如果枪头横向宽度超过 80mm 的话,横向传播的能量比例比较大,会降低能量利用的效率。因此考虑到工艺难度和实际需要,超声枪头的长度一般是 20KHz 的超声波在其中传播的波长的一半。另外在超声枪头的两面可以设计为具有空心槽的形状,来消减振动能量的横向传播。该超声枪头可以选用 Branson 公司的产品。

[0049] 超声发射装置 5 和超声控制器 3 共同组成超声激励系统,可以选用不同工作模式,该系统最大功率 4000W,可以通过振幅参数调节输出功率。通过超声控制器 3 可以调节超声枪头作用力的大小(调节范围是 44N-4000N),超声作用时间(10ms-30s)。不同的被检材料所对应的最佳参数也不同,非接触超声激励工作情况下选用测试模式,检测时设置峰值功率 100%(300W),作用时间选取 10 毫秒到 5 秒。

[0050] 工作时,超声控制器 3 向超声换能器发出电信号,超声发射装置 5 的超声换能器接收到超声控制器 3 发出的 20KHz 的电信号后,把 20KHz 的电信号转化为同频率的机械振动,传送到超声增益器,超声增益器将信号进行调幅后传送到超声枪头,超声枪头将该 20KHz 的超声信号发射到试件 4。红外热像仪 1 连续观测和记录试件 4 表面的温场变化,并将结果传送到计算机 2,利用计算机 2 采集红外热像仪 1 得到的热图数据,获取试件 4 表面温场的热图序列。

[0051] 利用上述非接触超声热激励红外热成像无损检测系统完成的无损检测方法,包括如下步骤:

[0052] 1、将被检测试件 4 放置在超声发射装置 5 的超声枪头的下方或侧下方,超声控制器 3 设定好超声频率为 20KHz,选用测试工作模式,设置检测时峰值功率 100%(300W),超声作用时间 10ms-5s;

[0053] 2、超声发射装置 5 接收到超声控制器 3 的控制信号后,向试件 4 发射声能;

[0054] 超声发射装置 5 的超声换能器接收到超声控制器 3 发出的 20KHz 的电信号后,把 20KHz 的电信号转化为同频率的机械振动,传送到超声增益器,超声增益器将信号进行调幅后传送到超声枪头,超声枪头将该 20KHz 的超声信号发射到试件 4。

[0055] 3、当足够的超声声能耦合进试件 4，会引起试件 4 内部缺陷部位的振动摩擦，产生热能，从而实现对缺陷处选择性的热激励。缺陷处积聚的热能通过热扩散到试件 4 表面，会产生局部表面的温度变化，通过红外热像仪 1 连续观测和记录试件 4 表面的温场变化；

[0056] 4、利用计算机 2 采集红外热像仪 1 得到的热图数据，获取被检试件 4 表面温场的热图序列，并进行数据处理和分析。最终实现对试件 4 内部缺陷或损伤的定量诊断。

[0057] 图 2 和图 3 为试件水平放置在振动适配器下方检测时的示意图，和检测出的表面温场热图，图 4 和图 5 为试件竖直放置在振动适配器侧下方检测时的示意图，和检测出的表面温场热图。

[0058] 由于非接触无损检测不需要与试件接触，仅需采用空气耦合，故相较于接触式的检测方式，其试件摆放位置可以更随意更容易固定试件，热像仪也更容易对准试件检测面进行信号采集。从图 2、3 和图 4、5 的对比可以看出，无论试件水平摆放或竖直摆放，摆放于振动适配器的下方或侧下方，都可以清楚的检测出试件 1 的损伤情况，试件的摆放位置对实验结果没有明显的影响。

[0059] 图 6 为另一种试件竖直放置于振动适配器侧下方检测出的表面温场热图，可以看出本发明的检测方法和系统，同样可以检测出如图 6 中的裂口等各种不同类型的损伤。

[0060] 本发明的检测方法和系统的优点在于：

[0061] 具有可实现非接触、完全无损的可控制可调节的激励方式；被检物的放置位置较灵活；声源频率高、噪音低、能量大，只对缺陷处加热，热激励产生的缺陷信号强，易判读；对垂直于和平行于结构表面的裂纹都敏感；可适用于易碎、形状不规则不易接触等材料的缺陷检测。该检测方法可对有机玻璃、塑料、木材、金属以及碳纤维、蜂窝等复合材料的裂纹、分层、疲劳损伤等缺陷进行有效地检测。

[0062] 以上对本发明的描述是说明性的，而非限制性的，本专业技术人员理解，在权利要求限定的精神与范围之内可对其进行许多修改、变化或等效，但是它们都将落入本发明的保护范围内。

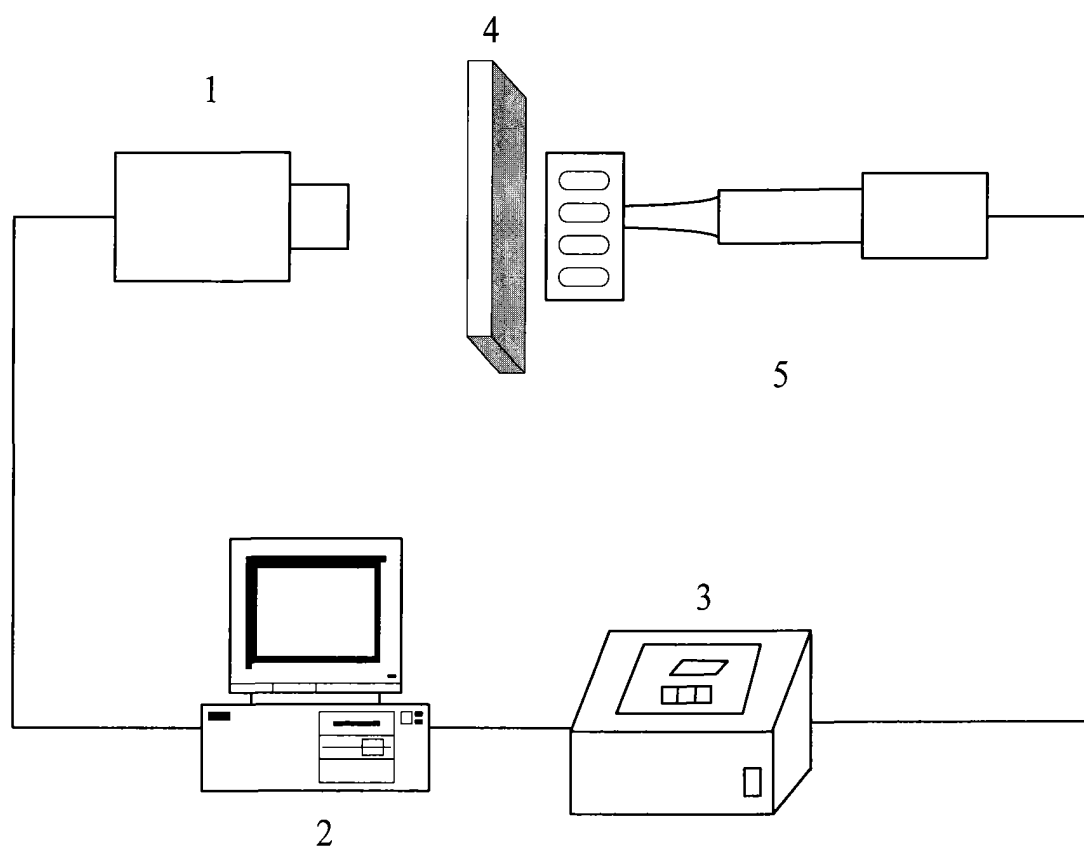


图 1



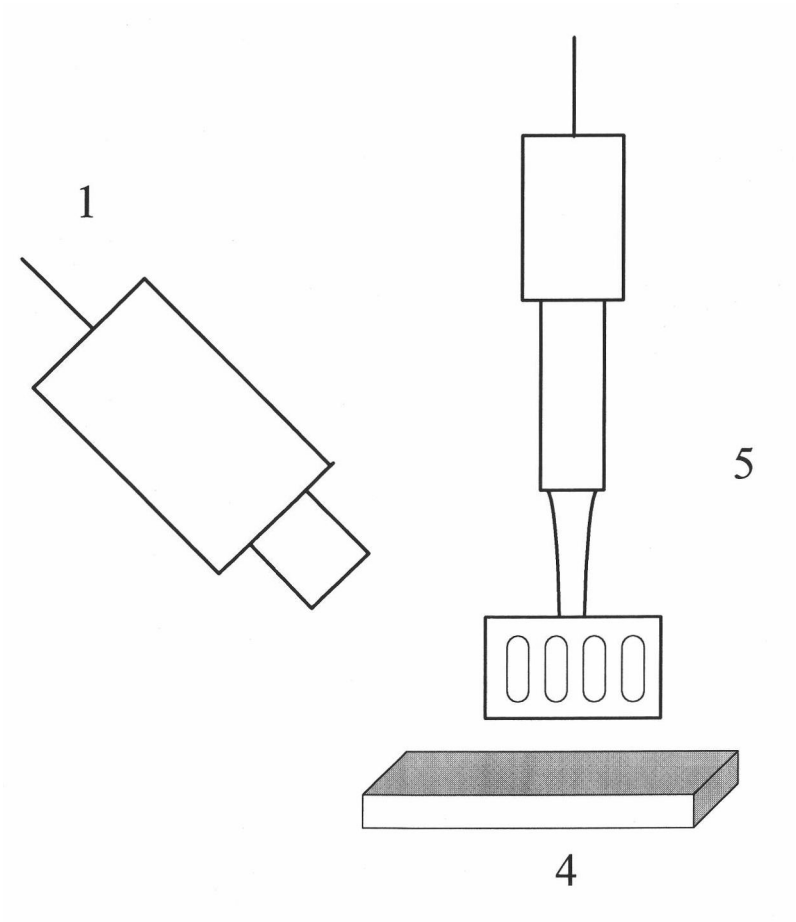


图 2

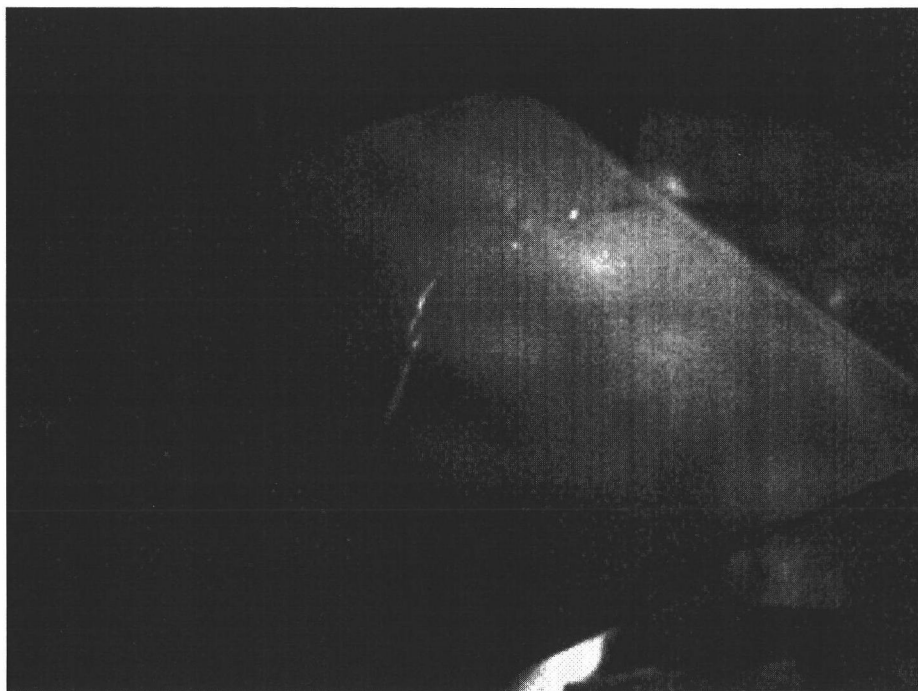


图 3

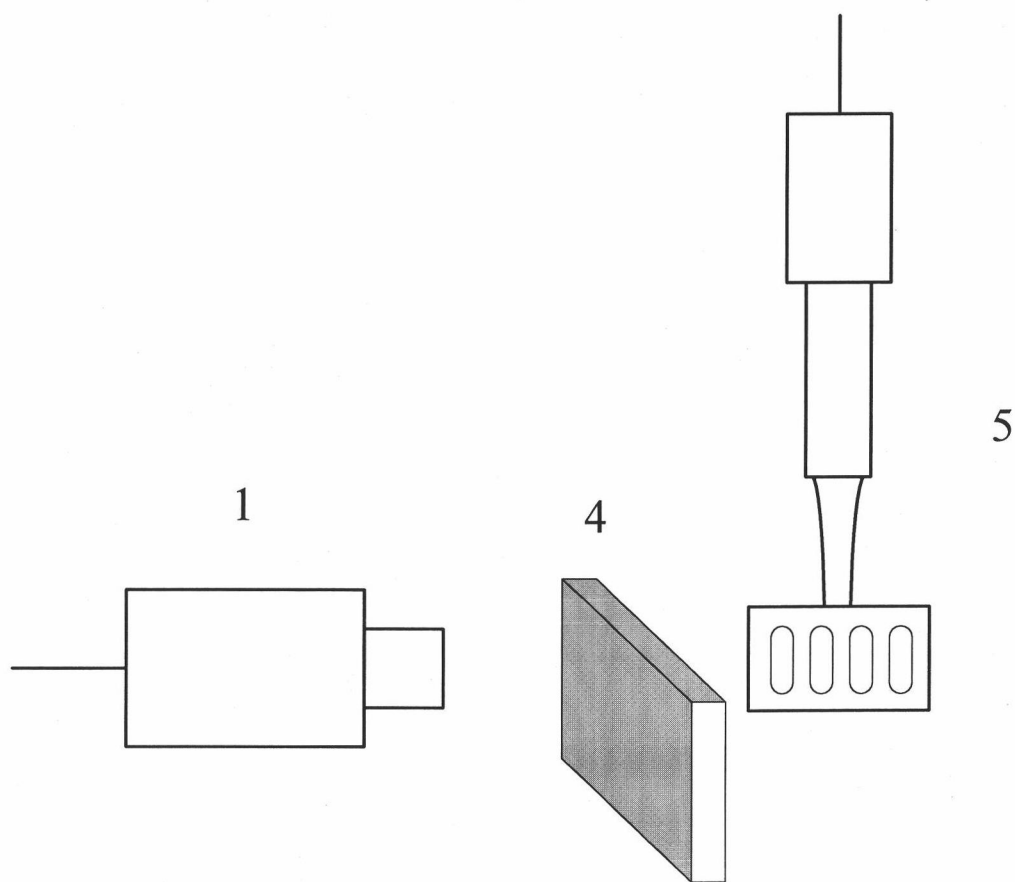


图 4

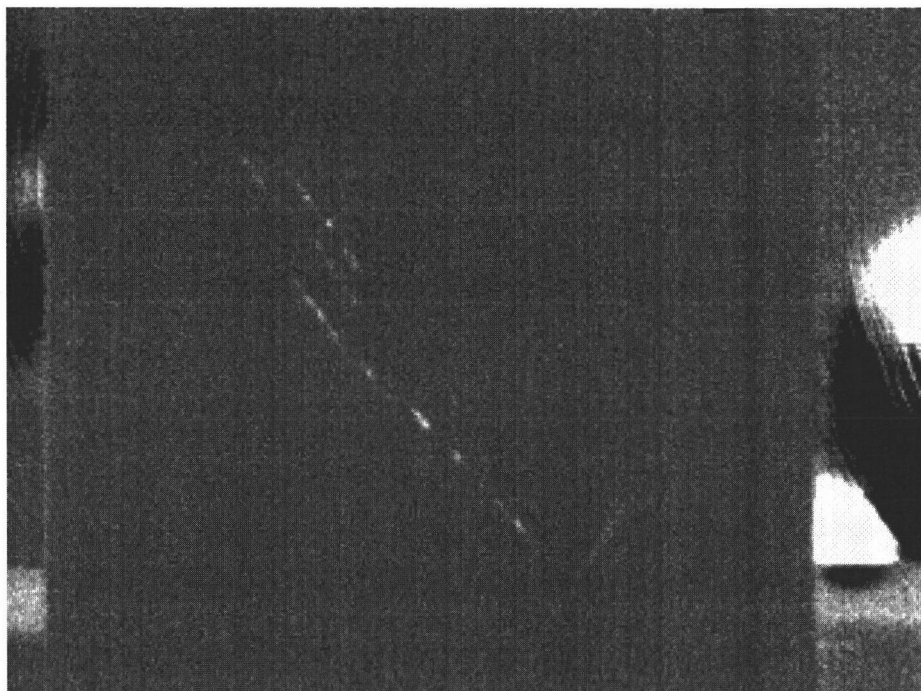


图 5

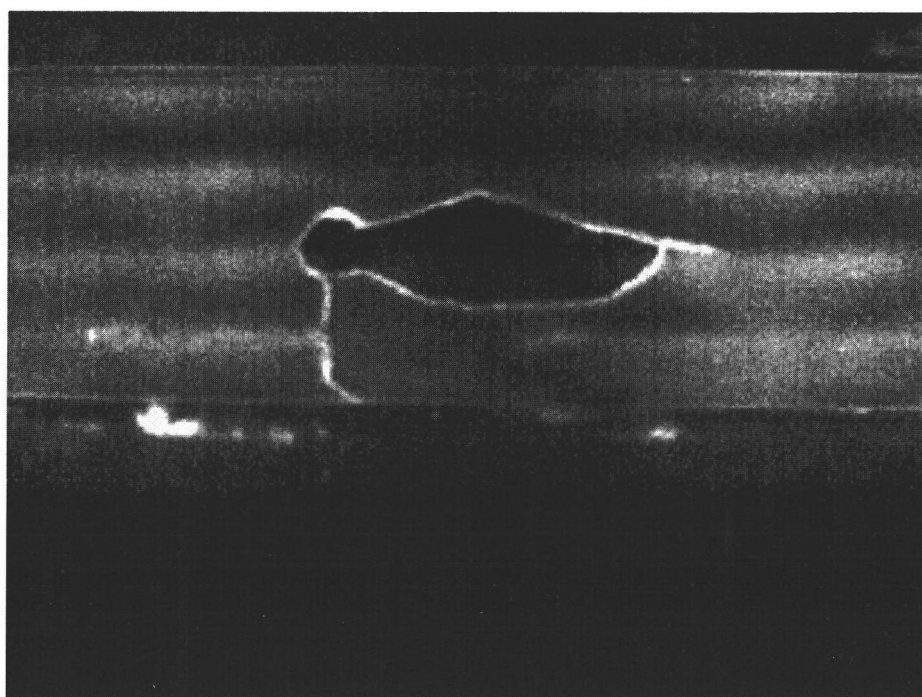


图 6