



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104713898 A

(43) 申请公布日 2015.06.17

(21) 申请号 201510100325.1

(22) 申请日 2015.03.06

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 王之桐 李文 彭林华 杨明江 覃志康 邵鑫

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理 事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01N 25/00(2006.01)

G01N 25/72(2006.01)

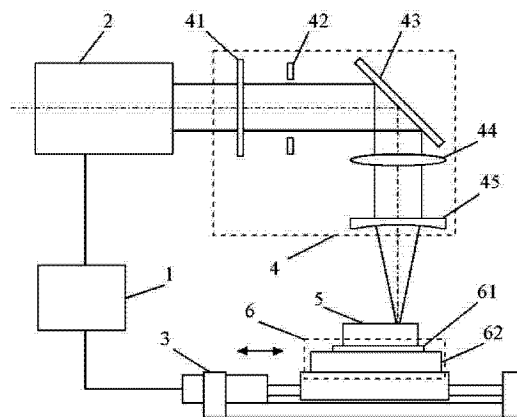
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法及装置

(57) 摘要

公开一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其能够定向诱导裂纹扩展、原位观察裂纹、对强化点本身的热疲劳性能和强化点对裂纹扩展的阻滞作用进行评价。包括步骤:(1)使用匀束器件将激光光斑的光强分布从高斯分布转变成均匀分布;(2)使用光束整形器件将激光光斑的形状从圆形变换成矩形;(3)改变光束整形器件参数调节矩形光斑的长宽比;(4)激光光斑沿指定路径扫描过强化区,对材料的正面加热,使之达到表面离散强化材料的实际使用温度;(5)在材料的背面使用水冷铜块来冷却;(6)激光停止,材料冷却到原始温度后,再次循环,一直加热到裂纹形成;(7)对表面离散强化的效果进行评价。还提供采用这种测试方法的装置。



1. 一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:其包括以下步骤:

- (1) 使用匀束器件将激光光斑的光强分布从高斯分布转变成均匀分布;
- (2) 使用光束整形器件将激光光斑的形状从圆形变换成矩形;
- (3) 改变光束整形器件参数调节矩形光斑的长宽比;
- (4) 激光光斑沿指定路径扫描过强化区,对表面离散强化材料的正面加热,使之达到表面离散强化材料的实际使用温度;
- (5) 在表面离散强化材料的背面使用水冷铜块来冷却;
- (6) 激光停止,材料冷却到原始温度后,再次循环,一直加热到裂纹形成;
- (7) 通过记录材料表面氧化膜的变化、裂纹萌生位置和强化区域对裂纹扩展的阻滞作用,以及对比原始材料和强化区域的裂纹密度,对表面离散强化的效果进行评价。

2. 根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:测试在空气中进行。

3. 根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:表面离散强化材料的正面抛光或磨削成具有一定粗糙度,背面涂抹硅脂贴到水冷铜块上,水冷铜块通恒温冷却水。

4. 根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:激光束垂直聚焦在表面离散强化材料的正面。

5. 根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:激光沿直线在材料正面扫描一定距离后停止,返回原点。

6. 根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:激光的扫描范围覆盖原始材料和强化区。

7. 根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其特征在于:激光光斑在垂直扫描方向上的尺寸大于强化区的尺寸。

8. 一种采用根据权利要求 1 所述的表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法的装置,其特征在于:该装置包括:控制装置(1)、激光器(2)、移动机构(3)、光束变换器件(4)、冷却装置(6),控制装置(1)令激光器(2)发出水平出射的激光并令移动机构(3)的滑台移动,冷却装置(6)固定在滑台上,表面离散强化材料(5)放在冷却装置(6)上,激光通过光束变换器件(4)后垂直照射到表面离散强化材料(5)的正面。

9. 根据权利要求 8 所述的装置,其特征在于:所述光束变换器件(4)包括匀束器件(41)、光阑(42)、45 度反射镜(43)、凸面球透镜(44)、凹面柱透镜(45)。

10. 根据权利要求 8 所述的装置,其特征在于:所述冷却装置(6)包括导热硅脂层(61)、水冷铜块(62),导热硅脂层(61)涂抹在表面离散强化材料(5)的背面和水冷铜块之间。

一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于材料热疲劳性能检测的技术领域,具体地涉及一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,以及采用该方法的装置。

背景技术

[0002] 双辊式铸轧工艺能够将熔融金属连续加工成不同宽度、厚度的板带坯,其在铝加工行业中得到了广泛的应用。在铝铸轧辊使用过程中,辊套内部使用冷却水循环,辊套表面周期性地与熔融的铝液接触,承受着周向和径向的热冲击。辊套表面在热应力、接触应力和装配应力的共同作用下,发生疲劳开裂。为了保证正常生产,辊套使用一段时间后需要下机修磨。辊套的热疲劳性能直接影响到了使用寿命和铝板带坯的质量。由于裂纹是从辊套表面萌生和扩展,因此表面强化是一种有吸引力的方法,尤其是离散强化方法,有望抑制裂纹萌生、阻滞裂纹扩展,提高辊套的使用寿命,改善铝板坯质量。针对表面离散强化的辊套材料以及相似用途的材料,需要使用合适的方法和装置对其热疲劳性能进行评价。

[0003] 目前,常规的材料热疲劳方法是整体加热、整体冷却。例如文献1,李福海,佟鑫等. 32Cr3Mo1V 表面激光合金化层热疲劳性能的研究. 材料研究与应用,2011,5(2):97-104,该文献中针对带状表面强化材料,使用加热炉加热、水冷的方式进行温度循环。激光加热的材料热疲劳实验也有文献进行了研究。例如文献2,贾力,孙智刚. 激光热疲劳实验系统在预测轧辊热疲劳性能上的研究. 工业加热,2009,38(5):63-64,该文献中使用千瓦级 CO₂激光加热、N₂气体冷却的方式,研究了裂纹的萌生和扩展过程。以上文献中,由于疲劳裂纹扩展方向是随机的,因此难以精确研究离散强化区域对裂纹的阻滞作用。

发明内容

[0004] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其能够定向诱导裂纹扩展、原位观察裂纹、对强化点本身的热疲劳性能和强化点对裂纹扩展的阻滞作用进行评价。

[0005] 本发明的技术解决方案是:一种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法,其包括以下步骤:

[0006] (1) 使用匀束器件将激光光斑的光强分布从高斯分布转变成均匀分布;

[0007] (2) 使用光束整形器件将激光光斑的形状从圆形变换成矩形;

[0008] (3) 改变光束整形器件参数调节矩形光斑的长宽比;

[0009] (4) 激光光斑沿指定路径扫描过强化区,对表面离散强化材料的正面加热,使之达到表面离散强化材料的实际使用温度;

[0010] (5) 在表面离散强化材料的背面使用水冷铜块来冷却;

[0011] (6) 激光停止,材料冷却到原始温度后,再次循环,一直加热到裂纹形成;

[0012] (7) 通过记录材料表面氧化膜的变化、裂纹萌生位置和强化区域对裂纹扩展的阻滞作用,以及对比原始材料和强化区域的裂纹密度,对表面离散强化的效果进行评价。

[0013] 本发明通过使用激光束对表面离散强化材料的正面进行扫描加热,能够定向诱导裂纹扩展,原位观察裂纹;而激光束的扫描路线同时覆盖强化区和原始材料,能够对强化点本身的热疲劳性能和强化点对裂纹扩展的阻滞作用进行评价。

[0014] 还提供了一种采用这种表面离散强化材料热疲劳性能的激光测试方法的装置,该装置包括:控制装置、激光器、移动机构、光束变换器件、冷却装置,控制装置令激光器发出水平出射的激光并令移动机构的滑台移动,冷却装置固定在滑台上,表面离散强化材料放在冷却装置上,激光通过光束变换器件后垂直照射到表面离散强化材料的正面。

附图说明

[0015] 图 1 是采用根据本发明的表面离散强化材料的热疲劳性能的激光测试方法的装置的结构示意图。

[0016] 图 2 是光束整形器件的工作示意图。

[0017] 图 3 是表面离散强化材料的装卡示意图。

[0018] 图 4 是针对圆形的强化区域的激光扫描路径示意图。

[0019] 图 5 是针对第一种矩形的强化区域的激光扫描路径示意图。

[0020] 图 6 是针对第二种矩形的强化区域的激光扫描路径示意图。

[0021] 图 7 是激光扫描方向上的计算温度分布的示意图。

具体实施方式

[0022] 这种表面离散强化材料的热疲劳性能的激光测试方法,其包括以下步骤:

[0023] (1) 使用匀束器件将激光光斑的光强分布从高斯分布转变成均匀分布;

[0024] (2) 使用光束整形器件将激光光斑的形状从圆形变换成矩形;

[0025] (3) 改变光束整形器件参数调节矩形光斑的长宽比(例如长宽比:3—10);

[0026] (4) 激光光斑沿指定路径扫描过强化区,对表面离散强化材料的正面加热,使之达到表面离散强化材料的实际使用温度;

[0027] (5) 在表面离散强化材料的背面使用水冷铜块来冷却;

[0028] (6) 激光停止,材料冷却到原始温度后,再次循环,一直加热到裂纹形成;

[0029] (7) 通过记录材料表面氧化膜的变化、裂纹萌生位置和强化区域对裂纹扩展的阻滞作用,以及对比原始材料和强化区域的裂纹密度,对表面离散强化的效果进行评价。

[0030] 本发明通过使用激光束对表面离散强化材料的正面进行扫描加热,能够定向诱导裂纹扩展,原位观察裂纹;而激光束的扫描路线同时覆盖强化区和原始材料,能够对强化点本身的热疲劳性能和强化点对裂纹扩展的阻滞作用进行评价。

[0031] 另外,测试在空气中进行。这样可以考察表面氧化对热疲劳过程的影响。

[0032] 另外,表面离散强化材料的正面抛光或磨削成具有一定粗糙度,背面涂抹硅脂贴到水冷铜块上,水冷铜块通恒温冷却水。这样能够加快加热和冷却的速度。

[0033] 另外,使用匀束器件将激光光斑的光强分布从高斯分布转变成均匀分布,避免加热过程中材料正面的局部熔化。

[0034] 另外,使用光束整形器件将激光光斑的形状从圆形变换成长宽比大于 1 的矩形,例如长宽比为 3。如图 2 所示,改变凸面球透镜的焦距 f_1 、凹面柱透镜的聚焦 f_2 、两透镜的

距离 d 可以调节矩形光斑的长宽比。

[0035] 另外,如图 1 所示,激光束垂直聚焦在表面离散强化材料的正面,这样调整最为方便。图 1 中激光器的出射光为水平方向,经过 45 度反射镜后变为垂直方向。当然,也可以采用其它角度的激光束聚焦在表面离散强化材料的正面,例如聚焦光束与法线成 30 度角。

[0036] 另外,激光沿直线在材料正面扫描一定距离后停止,返回原点。这样反复多次,使材料正面的特定区域萌生裂纹。

[0037] 另外,激光的扫描范围覆盖原始材料和强化区。

[0038] 另外,激光光斑在垂直扫描方向上的尺寸大于强化区的尺寸,例如 2 倍。这样能够避免强化区在垂直扫描方向上出现裂纹。

[0039] 另外,如图 1 所示,还提供了一种采用这种表面离散强化材料的热疲劳性能的激光测试方法的装置,该装置包括:控制装置 1、激光器 2、移动机构 3、光束变换器件 4、冷却装置 6,其中光束变换器件包括匀束器件 41、光阑 42、45 度反射镜 43、凸面球透镜 44、凹面柱透镜 45,控制装置 1 令激光器 2 发出水平出射的激光并令移动机构 3 的滑台移动,冷却装置 6 固定在滑台上,表面离散强化材料 5 放在冷却装置上,激光通过光束变换器件 4 后垂直照射到表面离散强化材料 5 的正面。

[0040] 另外,所述冷却装置包括导热硅脂层 61、水冷铜块 62,导热硅脂层 61 涂抹在表面离散强化材料 5 的背面和水冷铜块 62 之间。这样能够把材料上的热传导给导热硅脂层,加快冷却速度。

[0041] 以下给出几个具体实施例。

[0042] 实施例 1

[0043] 如图 1、2、3、4 中所示,激光器 2 发出水平激光束,通过光束变换器件 4 将高斯分布光强的圆形光斑变换成均匀分布光强的矩形光斑 46。其中,匀束器件 41 改变光束的光强分布,光阑 42 用于滤除杂散光,45 度反射镜 43 将激光束反射成垂直,凸面球透镜 44 和凹面柱透镜 45 对圆形光斑光束整形成矩形光斑后将光束聚焦在材料 5 表面。表面抛光的材料 5 放置在水冷铜块 62 上,二者之间涂抹导热硅脂层 61,保证导热良好。材料 5 和冷却装置 6 固定在移动机构 3 的滑台上。控制装置 1 用于控制激光器 2 和移动机构 3。首先控制装置 1 令激光器 2 发出激光,同时令移动机构 3 的滑台按照箭头方向移动,激光束以扫描的方式加热材料 5 的正面。将圆形的强化区 7 放置在激光扫描路径上,例如激光扫描长度为 10 毫米时,将强化区放置在 7 毫米处。移动机构 3 的滑台移动 10 毫米后,控制装置 1 令激光器 2 停止发出激光,同时令移动机构 3 的滑台停止运动,并返回原点。待材料 5 冷却到原始温度后,再开始下一次循环。图 3 中表示了材料 5 在水冷铜块表面的安装方式。通过使用三个定位销 63,可以对材料 5 的位置进行定位,然后使用螺钉 64 将材料 5 与水冷铜块 62 压紧,避免移动过程中产生相对滑动。每循环一定周次后,例如 200 周次,将材料 5 取下进行观察、拍照,然后再将材料 5 背面涂抹导热硅脂层 61,使用定位销 63 定位,螺钉 64 压紧,进行下一次循环,直到表面氧化膜脱落,开始出现裂纹。通过分析裂纹出现的位置,可以评价表面强化的效果。例如当裂纹出现在强化区及其与原始材料过渡区时,说明强化区的总体疲劳抗力小于基体材料。当裂纹出现在原始材料区时,缩短循环周次进行观察,例如 20 周次,研究裂纹扩展到强化区时裂纹的扩展速度,评价强化区对裂纹的扩展阻力。图 7 示意了扫描路径上数值计算的温度分布。

[0044] 实施例 2

[0045] 如图 1、2、3、5 中所示,激光器 2 发出水平激光束,通过光束变换器件 4 将高斯分布光强的圆形光斑变换成均匀分布光强的矩形光斑 46。其中,匀束器件 41 改变光束的光强分布,光阑 42 用于滤除杂散光,45 度反射镜 43 将激光束反射成垂直,凸面球透镜 44 和凹面柱透镜 45 对圆形光斑光束整形成矩形光斑后将光束聚焦在材料 5 表面。表面抛光的材料 5 放置在水冷铜块 62 上,二者之间涂抹导热硅脂层 61,保证导热良好。材料 5 和冷却装置 6 固定在移动机构 3 的滑台上。控制装置 1 用于控制激光器 2 和移动机构 3。首先控制装置 1 令激光器 2 发出激光,同时令移动机构 3 的滑台按照箭头方向移动,激光束以扫描的方式加热材料 5 的正面。将矩形的强化区 7 放置在激光扫描路径上,矩形的长边与扫描方向垂直,例如激光扫描长度为 10 毫米时,将强化区放置在 7 毫米处。移动机构 3 的滑台移动 10 毫米后,控制装置 1 令激光器 2 停止发出激光,同时令移动机构 3 的滑台停止运动,并返回原点。待材料 5 冷却到原始温度后,再开始下一次循环。图 3 中表示了材料 5 在水冷铜块表面的安装方式。通过使用三个定位销 63,可以对材料 5 的位置进行定位,然后使用螺钉 64 将材料 5 与水冷铜块 62 压紧,避免移动过程中产生相对滑动。每循环一定周次后,例如 200 周次,将材料 5 取下进行观察、拍照,然后再将材料 5 背面涂抹导热硅脂层 61,使用定位销 63 定位,螺钉 64 压紧,进行下一次循环,直到表面氧化膜脱落,开始出现裂纹。通过分析裂纹出现的位置,可以评价表面强化的效果。例如当裂纹出现在强化区及其与原始材料过渡区时,说明强化区的总体疲劳抗力小于基体材料。当裂纹出现在原始材料区时,缩短循环周次进行观察,例如 20 周次,研究裂纹扩展到强化区时裂纹的扩展速度,评价强化区对裂纹的扩展阻力。图 7 示意了扫描路径上数值计算的温度分布。

[0046] 实施例 3

[0047] 如图 1、2、3、6 中所示,激光器 2 发出水平激光束,通过光束变换器件 4 将高斯分布光强的圆形光斑变换成均匀分布光强的矩形光斑 46。其中,匀束器件 41 改变光束的光强分布,光阑 42 用于滤除杂散光,45 度反射镜 43 将激光束反射成垂直,凸面球透镜 44 和凹面柱透镜 45 对圆形光斑光束整形成矩形光斑后将光束聚焦在材料 5 表面。表面抛光的材料 5 放置在水冷铜块 62 上,二者之间涂抹导热硅脂层 61,保证导热良好。材料 5 和冷却装置 6 固定在移动机构 3 的滑台上。控制装置 1 用于控制激光器 2 和移动机构 3。首先控制装置 1 令激光器 2 发出激光,同时令移动机构 3 的滑台按照箭头方向移动,激光束以扫描的方式加热材料 5 的正面。将矩形的强化区 7 放置在激光扫描路径上,矩形的长边与扫描方向成 45 度,例如激光扫描长度为 10 毫米时,将强化区放置在 7 毫米处。移动机构 3 的滑台移动 10 毫米后,控制装置 1 令激光器 2 停止发出激光,同时令移动机构 3 的滑台停止运动,并返回原点。待材料 5 冷却到原始温度后,再开始下一次循环。图 3 中表示了材料 5 在水冷铜块表面的安装方式。通过使用三个定位销 63,可以对材料 5 的位置进行定位,然后使用螺钉 64 将材料 5 与水冷铜块 62 压紧,避免移动过程中产生相对滑动。每循环一定周次后,例如 200 周次,将材料 5 取下进行观察、拍照,然后再将材料 5 背面涂抹导热硅脂层 61,使用定位销 63 定位,螺钉 64 压紧,进行下一次循环,直到表面氧化膜脱落,开始出现裂纹。通过分析裂纹出现的位置,可以评价表面强化的效果。例如当裂纹出现在强化区及其与原始材料过渡区时,说明强化区的总体疲劳抗力小于基体材料。当裂纹出现在原始材料区时,缩短循环周次进行观察,例如 20 周次,研究裂纹扩展到强化区时裂纹的扩展速度,评价强化区对

裂纹的扩展阻力。图 7 示意了扫描路径上数值计算的温度分布。

[0048] 实施例 4

[0049] 如图 1、2、3、4 中所示,激光器 2 发出水平激光束,通过光束变换器件 4 将高斯分布光强的圆形光斑变换成均匀分布光强的矩形光斑 46。其中,匀束器件 41 改变光束的光强分布,光阑 42 用于滤除杂散光,45 度反射镜 43 将激光束反射成垂直,凸面球透镜 44 和凹面柱透镜 45 对圆形光斑光束整形形成矩形光斑后将光束聚焦在材料 5 表面。表面粗糙的材料 5 放置在水冷铜块 62 上,例如材料 5 的表面粗糙度为 Ra2.0,二者之间涂抹导热硅脂层 61,保证导热良好。材料 5 和冷却装置 6 固定在移动机构 3 的滑台上。控制装置 1 用于控制激光器 2 和移动机构 3。首先控制装置 1 令激光器 2 发出激光,同时令移动机构 3 的滑台移动,激光束以扫描的方式加热材料 5 表面。将圆形的强化区 7 放置在激光扫描路径上,例如激光扫描长度为 10 毫米时,将强化区放置在 7 毫米处。移动机构 3 的滑台移动 10 毫米后,控制装置 1 令激光器 2 停止发出激光,同时令移动机构 3 的滑台停止运动,并返回原点。待材料 5 冷却到原始温度后,再开始下一次循环。图 3 中表示了材料 5 在水冷铜块表面的安装方式。通过使用三个定位销 63,可以对材料 5 的位置进行定位,然后使用螺钉 64 将材料 5 与水冷铜块 62 压紧,避免移动过程中产生相对滑动。循环一定周次后,例如 3000 周次,将材料 5 取下,表面抛光后进行观察、拍照,通过对比基体和强化点的裂纹密度,可以评价表面强化的效果。例如当强化区的裂纹密度小于原始材料时,说明强化区的疲劳抗力大于基体材料。如果基体未开裂或者裂纹未扩展到强化区,则更换试块,增加循环周次,例如 5000 次,再次将材料 5 表面抛光进行观察、拍照,直到基体和强化点同时出现裂纹,并比较裂纹密度,对强化区域的疲劳抗力进行评价。

[0050] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属本发明技术方案的保护范围。

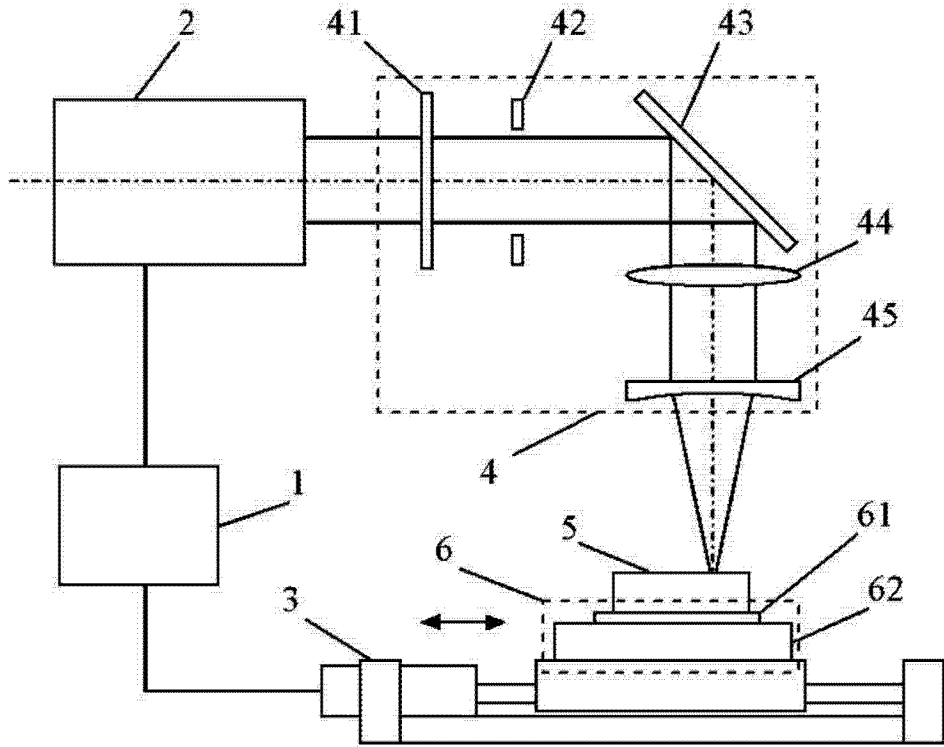


图 1

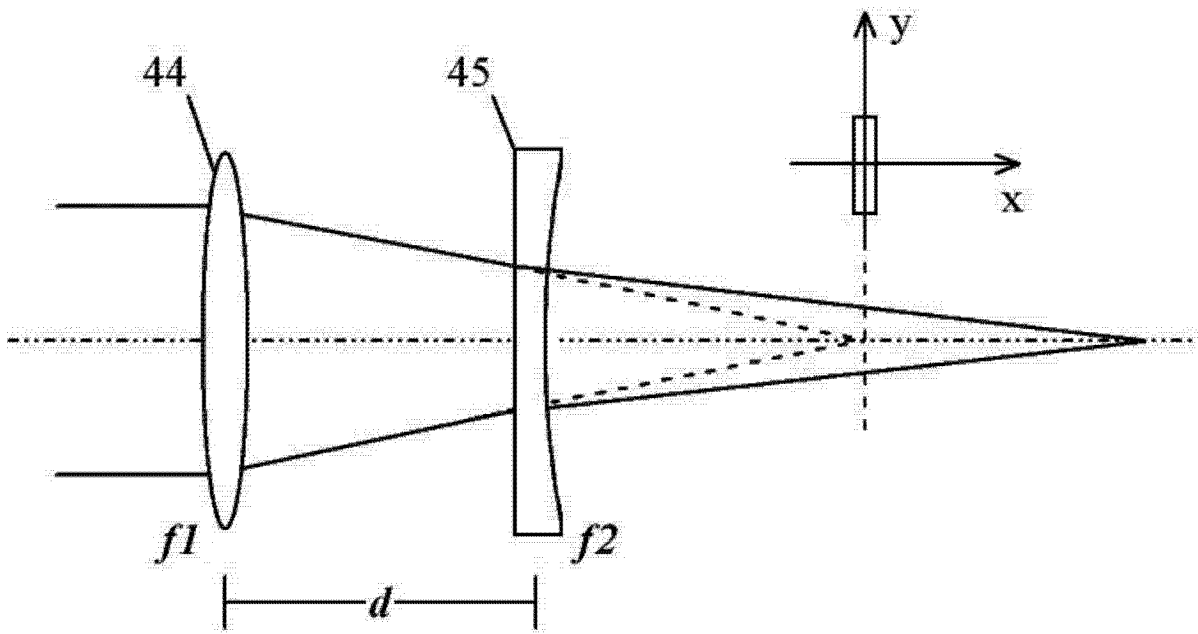


图 2

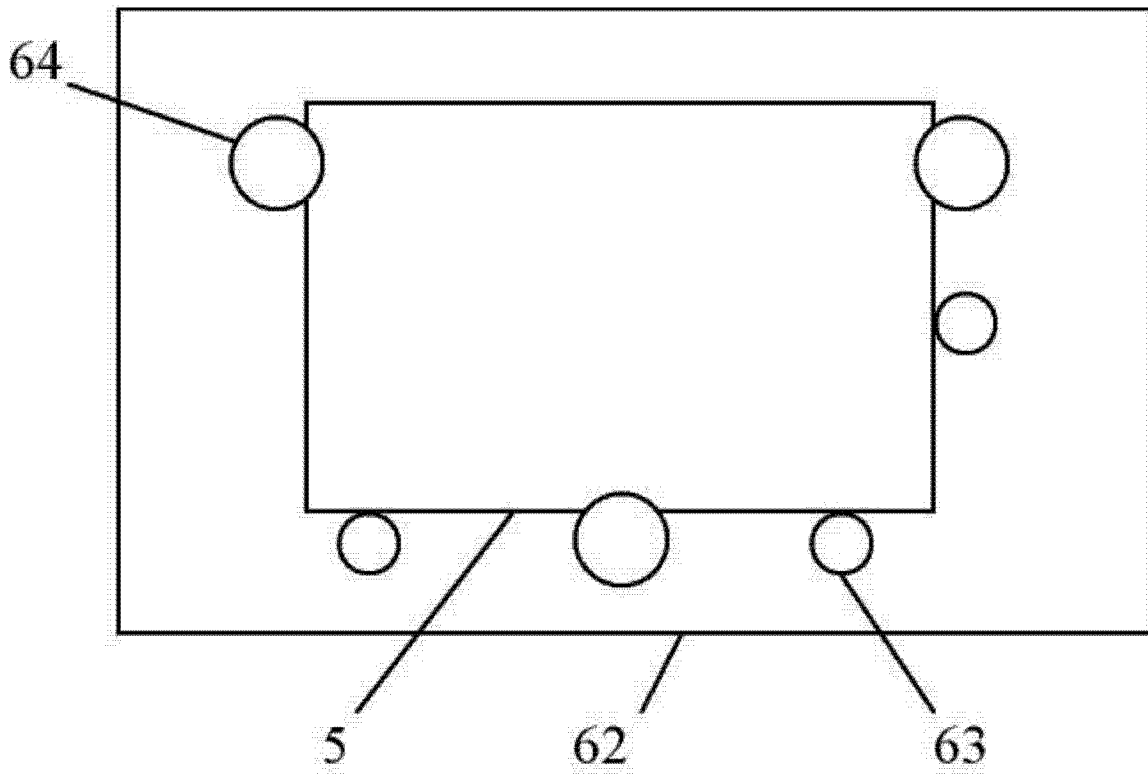


图 3

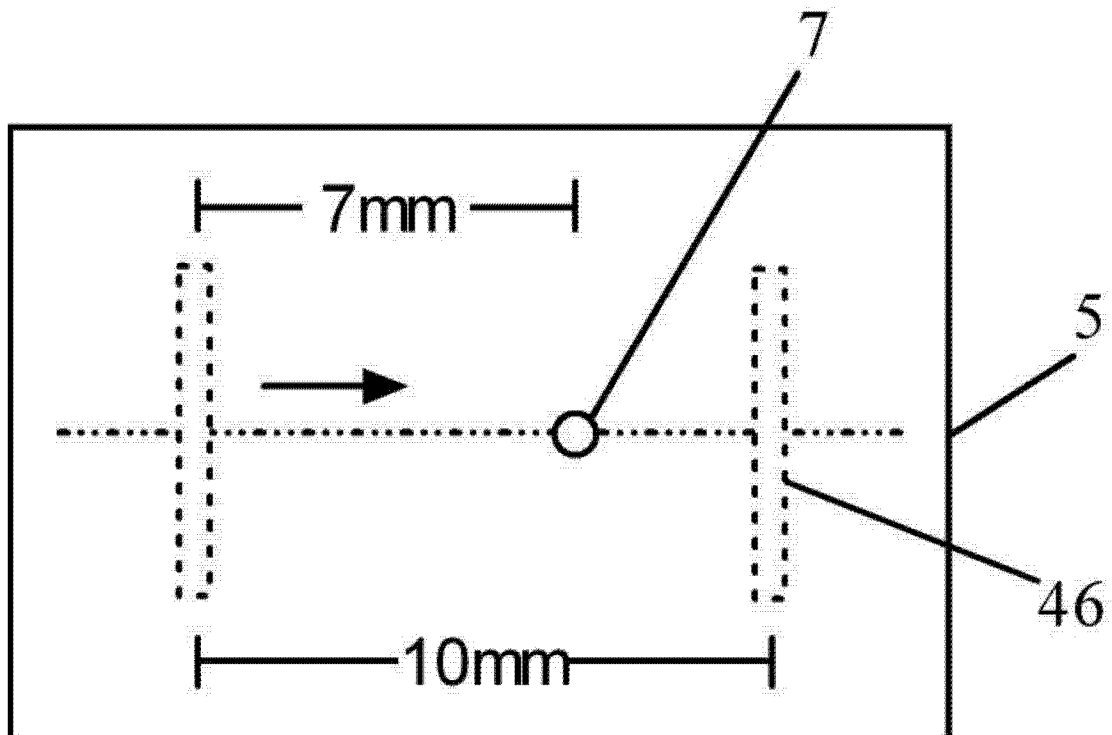


图 4

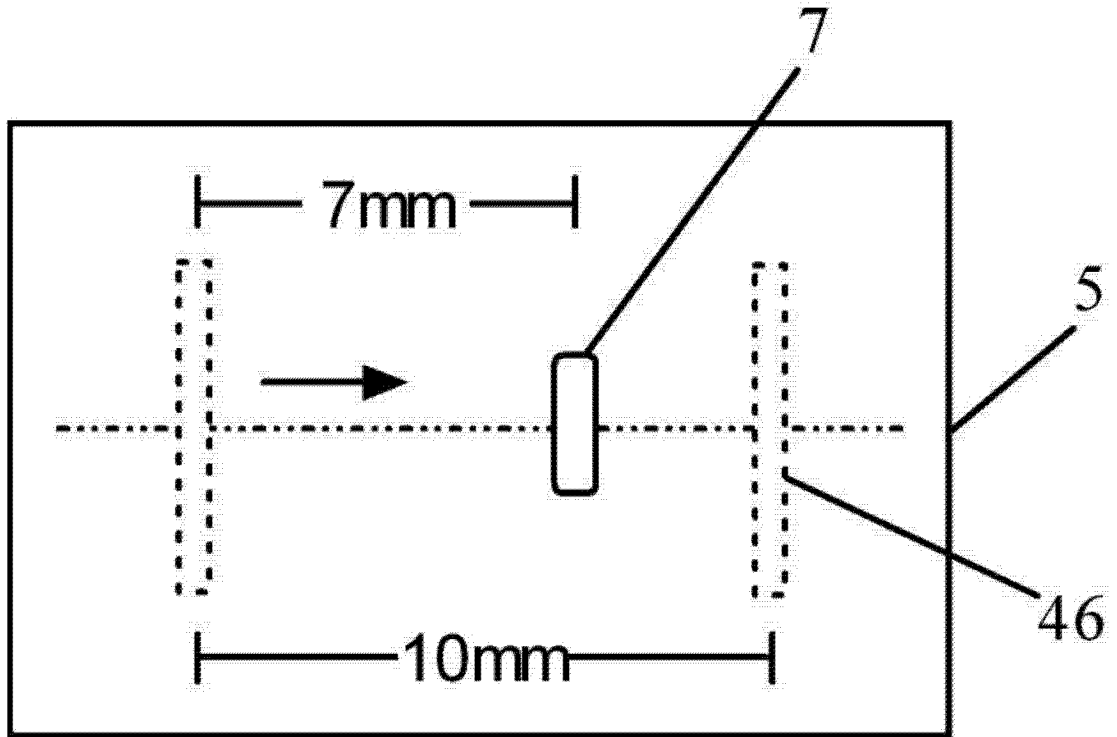


图 5

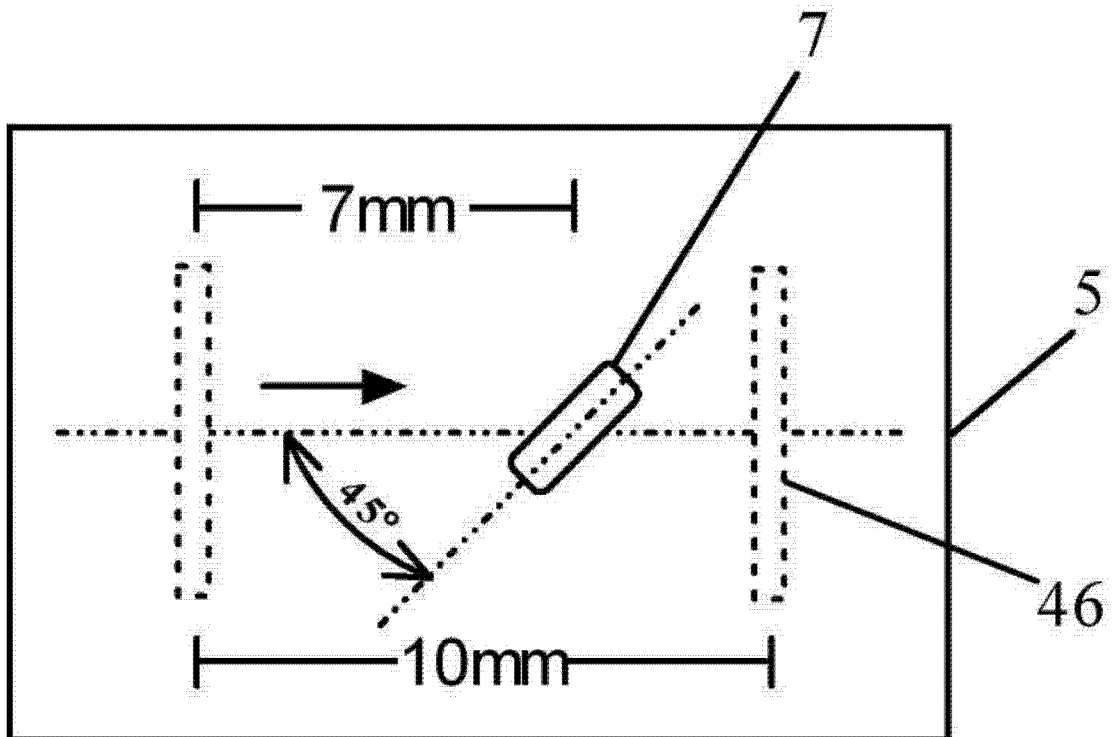


图 6

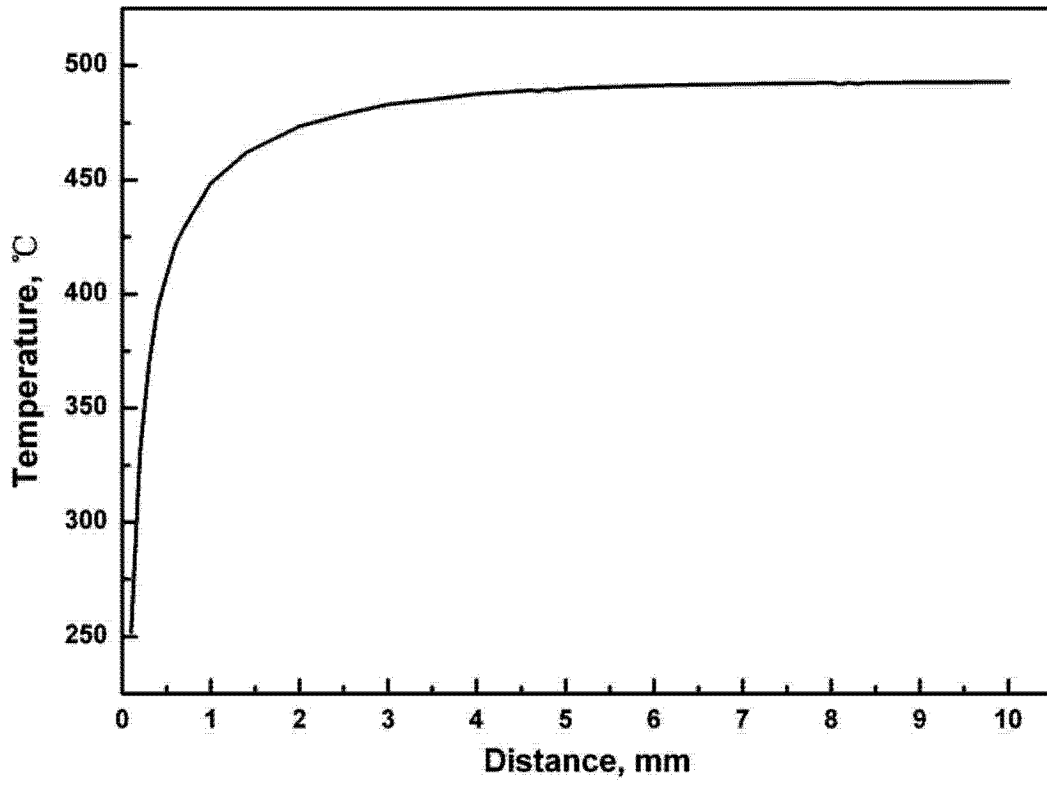


图 7