



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106769594 B

(45)授权公告日 2020.01.17

(21)申请号 201611101553.1

(22)申请日 2016.12.05

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106769594 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(73)专利权人 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 虞钢 潘斯宁 郑彩云 何秀丽
李少霞 宁伟健

(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 3/60(2006.01)

(56)对比文件

CN 101975703 A,2011.02.16,
CN 103383358 A,2013.11.06,
CN 1955713 A,2007.05.02,
US 5733042 A,1998.03.31,
JP 特开平8-10873 A,1996.01.16,

田栢.热作模具钢电脉冲处理热疲劳恢复试验研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技I辑》.2007,(第02期),B022-12.

审查员 董娟

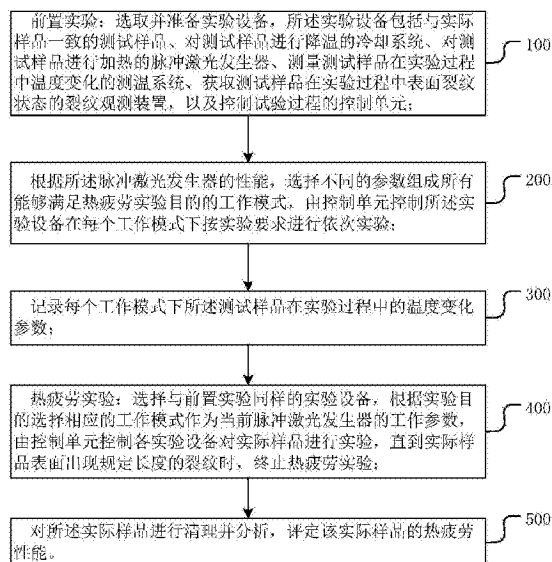
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

一种热疲劳实验方法

(57)摘要

本发明提供了一种热疲劳实验方法,包括:
前置实验:选取并准备实验设备;根据所述脉冲激光发生器的性能,选择不同的参数组成所有能够满足热疲劳实验目的的工作模式;记录每个工作模式下所述测试样品在实验过程中的温度变化参数;热疲劳实验:选择与前置实验同样的实验设备,根据实验目的选择相应的工作模式作为当前脉冲激光发生器的工作参数,由控制单元控制各实验设备对实际样品进行实验,直到实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验;对所述实际样品进行清理并分析,评定该实际样品的热疲劳性能。本发明可以有效利用脉冲激光的加热特点,通过调整其参数及进行参数合理组合,在实验室条件下实现实际工况中的不同循环载荷形式。



1. 一种热疲劳实验方法,其特征在于,包括如下步骤,

步骤100,前置实验:选取并准备实验设备,所述实验设备包括与实际样品一致的测试样品、对测试样品进行降温的冷却系统、对测试样品进行加热的脉冲激光发生器、测量测试样品在实验过程中温度变化的测温系统、获取测试样品在实验过程中表面裂纹状态的裂纹观测装置,以及控制试验过程的控制单元;

步骤200,根据所述脉冲激光发生器的性能,选择不同的参数组成所有能够满足热疲劳实验目的的工作模式,由控制单元控制所述实验设备在每一个工作模式下按实验要求进行依次实验;

步骤300,记录每个工作模式下所述测试样品在实验过程中的温度变化参数;

步骤400,热疲劳实验:选择与前置实验同样的实验设备,根据实验目的选择相应的工作模式作为当前脉冲激光发生器的工作参数,由控制单元控制各实验设备对实际样品进行实验,直到实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验;

步骤500,对所述实际样品进行清理并分析,评定该实际样品的热疲劳性能。

2. 根据权利要求1所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

在所述步骤100中,需要对所述测试样品的表面进行研磨,以使其与所述实际样品的表面粗糙度相同。

3. 根据权利要求1所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

在所述步骤200中,由所述脉冲激光发生器对所述测试样品的表面进行间歇性加热,由所述冷却系统按实验要求对所述测试样品整体进行冷却,所述测温系统持续测量所述脉冲激光发生器的激光照射在所述测试样品表面上光斑中心的温度;重复上述过程,直至完成实验目的。

4. 根据权利要求1所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

在所述步骤200中,所述脉冲激光发生器的参数包括脉宽、重复率、单脉冲能量、激光作用时间和离焦量。

5. 根据权利要求4所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

在所述步骤200中,每个工作模式的组成内容包括:选择所述脉冲激光发生器多个水平的单脉冲能量值中的一个,针对该单脉冲能量值在脉宽、单脉冲能量、激光作用时间和离焦量不变的条件下,仅改变脉冲激光重复率,以获取不同激光重复率下样品表面温度-时间变化曲线。

6. 根据权利要求5所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

所述表面温度-时间变化曲线的获取方式如下:针对记录的所述温度变化参数,利用数据处理软件筛选出每脉冲最高温度为峰值,连接各峰值得到温度上包络线,取温度上包络线在起始时间时的值作为初始温度,取温度上包络线在激光作用时间内的最高值作为最高温度,计算出此单脉冲能量值下不同脉冲激光重复率时的升温速度;重复上述过程以得到所有单脉冲能量值下的升温速度;利用升温速度可得到测试样品随激光作用总能量密度变化曲线。

7. 根据权利要求6所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

所述步骤400中,所述控制单元在控制过程中,需要先设定实际样品循环时的最高温度、最低温度和循环次数;当所述脉冲激光发生器将实际样品表面温度加热至最高温度值

时,停止所述脉冲激光发生器工作,控制冷却系统对实际样品进行冷却,当实际样品表面温度降到最低温度时,再次启动脉冲激光发生器对实际样品进行加热,重复上述过程至规定的循环次数或所述实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验。

8. 根据权利要求1所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

所述步骤400中,包括选择一种以上的工作模式进行组合来模拟实际样品的实际使用环境,再现与使用环境相同的加热环境,冷却环境以及冷热无规律交替循环的方式。

9. 根据权利要求1所述的热疲劳实验方法,其特征在于,所述实验设备包括:

工作架,包括激光固定架;

激光加热系统,安装在所述激光固定架上,用于加热样品;

样品放置座,位于所述激光发生器的下方,包括固定样品的夹持装置,所述夹持装置包括两块相对设置的夹持块,和驱动两块所述夹持块相对运动的动力装置;

温度测量装置,用于实时监测样品在实验过程中的温度变化;

裂纹观测装置,用于通过图像设备监测样品表面在实验过程中的状态变化;

冷却装置,用于降低样品的温度;

控制单元,用于控制各部件的实验参数。

10. 根据权利要求9所述的热疲劳实验方法,其特征在于,

所述样品放置座还包括倾斜调节结构,所述倾斜调节结构包括固定所述夹持装置的调节台,和调节所述调节台倾斜角度和旋转角度的调节座,所述调节座包括旋转台,和用于插装所述旋转台的插座,以及安装在所述旋转台上调整所述调节台倾斜角度的高度调节杆,所述高度调节杆通过万向节与所述调节台的底面连接,在所述插座上设置有固定插入后旋转台的固定螺栓。

一种热疲劳实验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料热疲劳实验领域,特别涉及一种通过前置实验以获取所有实验实现方式,并实现无规则实验过程的热疲劳实验方法。

背景技术

[0002] 发动机燃烧室零部件在其运行过程中,受到冷却介质和高频周期性高温燃气作用,同时还伴随着不规则的启动-工作-停机的低频循环变化,所承受的热载荷是一个随时间变化的非均匀温度场。

[0003] 现有的热疲劳实验,都是直接选择一种加热方式并固定一种加热模式对样品加热,直至完成样品的热疲劳实验,这种加热模式不能很好的体现实际环境中温度的变化过程,而且不能再现实际环境中的无规则冷热循环方式,导致产生的实验结果误差较大。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种通过前置实验以获取所有实验实现方式,并实现无规则实验过程的热疲劳实验方法。

[0005] 特别地,本发明提供一种热疲劳实验方法,包括如下步骤,

[0006] 步骤100,前置实验:选取并准备实验设备,所述实验设备包括与实际样品一致的测试样品、对测试样品进行降温的冷却系统、对测试样品进行加热的脉冲激光发生器、测量测试样品在实验过程中温度变化的测温系统、获取测试样品在实验过程中表面裂纹状态的裂纹观测装置,以及控制试验过程的控制单元;

[0007] 步骤200,根据所述脉冲激光发生器的性能,选择不同的参数组成所有能够满足热疲劳实验目的的工作模式,由控制单元控制所述实验设备在每一个工作模式下按实验要求进行依次实验;

[0008] 步骤300,记录每一个工作模式下所述测试样品在实验过程中的温度变化参数;

[0009] 步骤400,热疲劳实验:选择与前置实验同样的实验设备,根据实验目的选择相应的工作模式作为当前脉冲激光发生器的工作参数,由控制单元控制各实验设备对实际样品进行实验,直到实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验;

[0010] 步骤500,对所述实际样品进行清理并分析,评定该实际样品的热疲劳性能。

[0011] 在本发明的一个实施方式中,在所述步骤100中,需要对所述测试样品的表面进行研磨,以使其与所述实际样品的表面粗糙度相同。

[0012] 在本发明的一个实施方式中,在所述步骤200中,由所述脉冲激光发生器对所述测试样品的表面进行间歇性加热,由所述冷却系统按实验要求对所述测试样品整体进行冷却,所述测温系统持续测量所述脉冲激光发生器的激光照射在所述测试样品表面上光斑中心的温度;重复上述过程,直至完成实验目的。

[0013] 在本发明的一个实施方式中,在所述步骤200中,所述脉冲激光发生器的参数包括脉宽、重复率、单脉冲能量、激光作用时间和离焦量。

[0014] 在本发明的一个实施方式中,在所述步骤200中,每个工作模式的组成内容包括:选择所述脉冲激光发生器多个水平的单脉冲能量值中的一个,针对该单脉冲能量值在脉宽、单脉冲能量、激光作用时间和离焦量不变的条件下,仅改变脉冲激光重复率,以获取不同激光重复率下样品表面温度-时间变化曲线。

[0015] 在本发明的一个实施方式中,所述表面温度-时间变化曲线的获取方式如下:针对记录的所述温度变化参数,利用数据处理软件筛选出每脉冲最高温度为峰值,连接各峰值得到温度上包络线,取温度上包络线在起始时间时的值作为初始温度,取温度上包络线在激光作用时间内的最高值作为最高温度,计算出此单脉冲能量值下不同脉冲激光重复率时的升温速度;重复上述过程以得到所有单脉冲能量值下的升温速度;利用升温速度可得到测试样品随激光作用总能量密度变化曲线。

[0016] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤400中,所述控制单元在控制过程中,需要先设定实际样品循环时的最高温度、最低温度和循环次数;当所述脉冲激光发生器将实际样品表面温度加热至最高温度值时,停止所述脉冲激光发生器工作,控制冷却系统对实际样品进行冷却,当实际样品表面温度降到最低温度时,再次启动脉冲激光发生器对实际样品进行加热,重复上述过程至规定的循环次数或所述实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验。

[0017] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤400中,包括选择一种以上的工作模式进行组合来模拟实际样品的实际使用环境,再现与使用环境相同的加热环境,冷却环境以及冷热无规律交替循环的方式。

[0018] 在本发明的一个实施方式中,所述实验设备包括:

[0019] 工作架,包括激光固定架;

[0020] 激光加热系统,安装在所述激光固定架上,用于加热样品;

[0021] 样品放置座,位于所述激光发生器的下方,包括固定样品的夹持装置,所述夹持装置包括两块相对设置的夹持块,和驱动两块所述夹持块相对运动的动力装置;

[0022] 温度测量装置,用于实时监测样品在实验过程中的温度变化;

[0023] 裂纹观测装置,用于通过图像设备监测样品表面在实验过程中的状态变化;

[0024] 冷却装置,用于降低样品的温度;

[0025] 控制单元,用于控制各部件的实验参数。

[0026] 在本发明的一个实施方式中,所述样品放置座还包括倾斜调节结构,所述倾斜调节结构包括固定所述夹持装置的调节台,和调节所述调节台倾斜角度和旋转角度的调节座,所述调节座包括旋转台,和用于插装所述旋转台的插座,以及安装在所述旋转台上调整所述调节台倾斜角度的高度调节杆,所述高度调节杆通过万向节与所述调节台的底面连接,在所述插座上设置有固定插入后旋转台的固定螺栓。

[0027] 本发明可以有效利用脉冲激光的加热特点,通过调整其参数(脉宽、重复率、单脉冲能量、脉冲波形、离焦量、脉冲编组等)及进行参数合理组合,在实验室条件下实现实际工况中的不同循环载荷形式(高频、低频、高低频组合循环)。通过对脉冲激光预备实验结果的科学分析,为热疲劳实验的脉冲激光参数的选择提供科学的依据。选择合适的脉冲激光参数,结合不同冷却速率的冷却方式,以提供一种在多层次、多尺度范围内深入研究热疲劳损伤影响因素及机理的实验方法,对于准确快速地开展不同类型的脉冲激光热疲劳实验,具

有重要的科学意义及工程价值。

附图说明

- [0028] 图1是本发明一个实施方式的热疲劳实验方法流程示意图；
- [0029] 图2为本发明一个实施例中前置实验测试的温度-时间曲线；
- [0030] 图3为本发明一个实施例中前置实验测试的温度-时间曲线分析；
- [0031] 图4为本发明一个实施例中前置实验结果分析；
- [0032] 图5为本发明一个实施例中前置实验结果分析；
- [0033] 图6为本发明一个实施例中实际样品的光斑中心及基体的温度-时间循环曲线；
- [0034] 图7为本发明一个实施例中实际样品光斑中心区域氧化的表面裂纹形貌图；
- [0035] 图8为本发明一个实施例中实际样品光斑中心区域去除氧化皮后的表面裂纹形貌图；
- [0036] 图9为本发明一个实施方式的实验设备结构示意图。

具体实施方式

[0037] 本申请采用脉冲激光发生器作为加热源,其产生的激光束具有高功率密度、高时空可控性的特点,更易于实现随时间变化的非均匀温度场分布。

[0038] 如图1所示,本发明一个实施方式的热疲劳实验方法,包括如下步骤,

[0039] 步骤100,前置实验:选取并准备实验设备,所述实验设备包括与实际样品一致的测试样品、对测试样品进行降温的冷却系统、对测试样品进行加热的脉冲激光发生器、测量测试样品在实验过程中温度变化的测温系统、获取测试样品在实验过程中表面裂纹状态的裂纹观测装置,以及控制试验过程的控制单元。

[0040] 通过前置实验可以测试所有实验设备是否能够达到实验要求,同时得到所有实验设备的工作性能,以为不同的实验环境提供可调整的性能数据。

[0041] 步骤200,根据所述脉冲激光发生器的性能,选择不同的参数组成所有能够满足热疲劳实验目的的工作模式,由控制单元控制所述实验设备在每一个工作模式下按实验要求进行依次实验。

[0042] 在同样的实验设备中,可以组合出多种满足实验条件的工作模式,如降低单脉冲能量,可延长样品达到预定温度的时间;增加重复率可加快样品温度升高速度;延长激光作用时间可以提高样品温度,改变冷却系统的冷却速度可以改变样品的冷却时间等等。通过不同的参数结合,可以实现不同环境状况的实况模拟,从而提高实验结果的精确性。

[0043] 步骤300,记录每个工作模式下所述测试样品在实验过程中的温度变化参数。

[0044] 该步骤可以得到不同工作模式时的温度变化,从而为不同环境选择合适的工作模式提供选择基础。

[0045] 步骤400,热疲劳实验:选择与前置实验同样的实验设备,根据实验目的选择相应的工作模式作为当前脉冲激光发生器的工作参数,由控制单元控制各实验设备对实际样品进行实验,直到实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验。

[0046] 本步骤为针对实际样品的具体实验,由于前置实验针对该类样品已经提供了足够的实验数据,因此,可以针对实际样品的实际使用环境,选择最接近的工作模式,来进行实

验,使得到的实验结果最接近真实的结果。这里实际样品上的裂纹是否满足实验要求,可以通过裂纹观测装置人工观察确定,也可以在裂纹观测装置内设置相应的激活点,当裂纹在长度和/或宽度方向满足实验要求时,进行自动报警。

[0047] 步骤500,对所述实际样品进行清理并分析,评定该实际样品的热疲劳性能。

[0048] 本实施方式可以有效利用脉冲激光的加热特点,通过调整其参数(脉宽、重复率、单脉冲能量、脉冲波形、离焦量、脉冲编组等)及进行参数合理组合,在实验室条件下实现实际工况中的不同循环载荷形式(高频、低频、高低频组合循环)。通过对脉冲激光预备实验结果的科学分析,为热疲劳实验的脉冲激光参数的选择提供科学的依据。选择合适的脉冲激光参数,结合不同冷却速率的冷却方式,以提供一种在多层次、多尺度范围内深入研究热疲劳损伤影响因素及机理的实验方法,对于准确快速地开展不同类型的脉冲激光热疲劳实验,具有重要的科学意义及工程价值。

[0049] 在本发明的一个实施方式中,为提高测试样品的测试效果,可以在前置实验前,先对测试样品的表面进行研磨,以使其与实际样品的表面粗糙度相同,以获得更符合实际情况的实验结果。

[0050] 在本发明的一个实施方式中,具体的实验过程中,可以由脉冲激光发生器对测试样品的表面进行间歇性加热,由冷却系统在脉冲激光发生器停止工作期间,对测试样品整体进行冷却,测温系统持续测量脉冲激光发生器的激光照射在测试样品表面上光斑中心的温度;重复上述过程,直至完成实验目的。在其它的实施方式中,也可以是冷却系统始终对测试样品进行冷却,测试在此基础上的加热状态。具体的冷却方式可以是对测试样品表面冷却,也可以是对测试样品内部冷却。

[0051] 在本发明的一个实施方式中,该脉冲激光发生器的参数可以包括脉宽、重复率、单脉冲能量、激光作用时间和离焦量。每个工作模式的组成内容可以包括:选择脉冲激光发生器多个水平的单脉冲能量值中的一个,针对该单脉冲能量值在脉宽、单脉冲能量、激光作用时间和离焦量不变的条件下,仅改变脉冲激光重复率,以获取不同激光重复率下样品表面温度-时间变化曲线。

[0052] 在本发明的一个实施方式中,该表面温度-时间变化曲线的获取方式可以如下:针对记录的温度变化参数,利用数据处理软件筛选出每脉冲最高温度为峰值,连接各峰值得到温度上包络线,取温度上包络线在起始时间时的值作为初始温度,取温度上包络线在激光作用时间内的最高值作为最高温度,计算出此单脉冲能量值下不同脉冲激光重复率时的升温速度;重复上述过程以得到所有单脉冲能量值下的升温速度;利用升温速度可得到测试样品随激光作用总能量密度变化曲线。

[0053] 在本发明的一个实施方式中,该控制单元在控制实验过程时,可以先设定实际样品循环时的最高温度、最低温度和循环次数;当脉冲激光发生器将实际样品表面温度加热至最高温度值时,停止脉冲激光发生器工作,控制冷却系统对实际样品进行冷却,当实际样品表面温度降到最低温度时,再次启动脉冲激光发生器对实际样品进行加热,重复上述过程至规定的循环次数或实际样品表面出现规定长度的裂纹时,终止热疲劳实验。

[0054] 在其它的实施方式中,也可以是限定加热或冷却的时间来进行循环实验。

[0055] 在本发明的一个实施方式中,为再现实际样品在实际使用环境中的无规则冷热循环现象,在实际样品的实验过程中,可以选择一种以上的工作模式进行组合来模拟实际样

品的实际使用环境,各工作模式的排列、加热条件、冷却条件可以根据实际情况进行设置,以再现与使用环境相同的加热环境,冷却环境以及冷热无规律交替循环的方式。

[0056] 例如:在温度 $T_1 \sim T_2$ 段选择低单脉冲能量(3~10J)、高重复率(20~50Hz)的激光参数组合一,进行快速加热,到达相应的温度后关闭激光进行冷却,冷却至温度 T_4 (T_4 与 T_1 不一定相等)后再利用激光参数组合一进行加热,如此循环。

[0057] 又如:在温度 $T_1 \sim T_2$ 段选择低单脉冲能量(3~10J)、高重复率(20~50Hz)的激光参数组合一,进行快速加热;在 $T_2 \sim T_3$ 段选择高单脉冲能量(10~40J)、低重复率(1~10Hz)的激光参数组合二,在温度 T_2 至 T_3 区间进行高温振荡,具体的重复率数值可以根据实际情况进行相应的换算和设置,完成设定的振荡次数后即可关闭激光进行冷却,冷却至温度 T_4 (T_4 与 T_1 不一定相等)后再切换到激光参数组合一进行加热,如此循环。

[0058] 以下提供一个具体的实施例来说明本申请的实验过程。

[0059] 具体实验参数如下:

[0060] 1、脉冲激光发生器采用法国IQL 10的固体脉冲激光器,采用光纤将激光器与激光头连接,光纤直径为0.06mm;

[0061] 2、光束变换系统将激光束分布变换成一束高斯分布激光,选择合适的离焦量,使光斑直径为8mm。

[0062] 3、红外测温仪采用雷泰公司生产的Raytek LTH,测温范围 $-40 \sim 600^\circ\text{C}$,光谱响应 $8 \sim 14\mu\text{m}$,响应时间150ms,红外测温仪探头垂直于实际样品表面,测试温度点的位置位于实际样品表面激光光斑中心。

[0063] 4、冷却系统的管路内通入压缩空气对样品进行冷却,压缩空气流量设置为10L/min。

[0064] 实际样品尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 25\text{mm}$,将其表面研磨至表面粗糙度 $0.8\mu\text{m}$ 以下,放置在样品放置座上,实际样品与样品放置座之间可以放置隔热垫,防止两者之间的热传导。实际样品的材料为RuT400,材料主要化学成分如表1所示。

	C	Si	Mn	S	P	Cu	Fe
[0065]	3.38	1.90	0.10	0.37	0.019	0.97	Bal.

[0066] 进行前置实验时,根据脉冲激光发生器的能力,设定3个水平的单脉冲能量测试值,分别为3J、5J、10J(脉冲能量)。脉宽设置为2ms,激光作用时间固定为60s,单脉冲能量选择为5J,分别测试激光重复率为1Hz、4Hz、8Hz、10Hz时测试样品表面温度-时间曲线,如图2所示。保持脉宽为2ms、激光作用时间60s不变,改变单脉冲能量为3J或者10J,分别测试出不同激光重复率下的测试样品表面温度-时间曲线。

[0067] 对于测试出的表面温度-时间变化曲线,利用数据处理软件origin筛选出每脉冲最高温度为峰值,连接各峰值得到温度上包络线,取温度上包络线在2秒时值作为初始温度 $T_i = 90^\circ\text{C}$,取温度上包络线在激光作用时间60s内的最高值作为最高温度 $T_m = 210^\circ\text{C}$,如图3所示,计算出2ms、5J、10Hz这个激光参数组合下的升温速率 $v = 2.07^\circ\text{C}/\text{s}$;用同样的方法计算出其余温度-时间曲线的初始温度 T_i 、最高温度 T_m 、升温速率 v 。以脉冲激光重复率为横轴、初始温度 T_i 为纵轴,得到初始温度-重复率曲线,如图4所示。以60s内激光作用总能量密度为横轴、升温速率 v 为纵轴,得到升温速率-总能量密度曲线,如图5所示。

[0068] 根据开展低周热疲劳实验所需要的升温速率及最高温度,参考前置实验得到的结

果,选择2ms、5J、20Hz的脉冲激光参数组合开展热疲劳实验。将热疲劳实验的实际样品表面研磨至表面粗糙度 $0.8\mu\text{m}$ 以下,放置在样品放置座上,选择合适的离焦量,使光斑直径为8mm,压缩空气流量设置为10L/min。

[0069] 设定热疲劳实验循环的最高温度 400°C 、最低温度 150°C 、循环次数4500次;当脉冲激光束将实际样品表面温度加热至最高温度值时,停止加热,对实际样品进行冷却,当表面温度降到最低温度时,脉冲激光束对实际样品加热,完成4500次循环后终止热疲劳实验,得到实际样品光斑中心及基体的温度-时间循环曲线,如图6所示。

[0070] 热疲劳实验结束后,利用光学显微镜对实际样品表面裂纹形貌进行观察,为光斑中心区域氧化的表面裂纹形貌图,放大倍数为100倍,如图7所示;去除氧化皮后,光斑中心区域氧化的表面裂纹形貌图,放大倍数为100倍,如图8所示。

[0071] 在本发明的一个实施方式中,涉及的实验设备可以包括工作架10、脉冲激光发生器20、样品放置座30、温度测量装置40、裂纹观测装置70、冷却系统50和控制单元60。

[0072] 该工作架10为各设备提供安装基座,在工作架上安装有激光固定架21。该脉冲激光发生器20安装在激光固定架21上,用于向样品发射指定功率的激光。该样品放置座30位于脉冲激光发生器20的下方,包括固定样品的夹持装置31,该夹持装置31可以包括两块相对设置以将样品稳定住的夹持块,和驱动两块夹持块相对运动以对样品施加恒定应力的动力装置。该温度测量装置40用于实时获取样品在整个实验过程中的温度变化值。该冷却系统50用于控制样品在实验时的低温变化。该控制单元60控制上述部件按预定实验条件加载运行参数,包括激光的功率大小,冷却温度的大小,动力装置的加载力大小等。

[0073] 该裂纹观测装置70用于通过相应的图像设备观测样品在实验过程中的状态变化;该变化主要是样品在受规律或不规律的高-低循环温度刺激下,样品表面出现裂纹时的时间和裂纹长度、宽度随时间变化的状态信息。具体的图像设备可以是显微镜或CCD等能够持续观察和获取样品变化图像的设备,其获取的图像可以直接输送至控制单元进行实时分析和/或作为后续研究资料。

[0074] 本实施方式采用脉冲激光作为热源,能有效利用脉冲激光的加热特点,结合不同冷却速率的冷却方式,准确模拟受热零件及材料不同变化频率的温度波动,样品在经历热循环温度波动的同时受到恒定机械应力加载,能在平行于压缩载荷方向上产生定向扩展裂纹,从而避免现有技术中预先在样品上制造裂纹而导致实验精度下降的问题。

[0075] 在工作时,脉冲激光发生器安装在工作架10上,将待测试的样品放置在样品放置座30上,利用夹持装置31的两个夹持块将样品夹持住,同时通过控制单元60控制动力装置对样品施加指定大小的恒定应力。然后启动脉冲激光发生器20对样品进行预定功率的激光照射,以模拟样品所受高温,利用冷却系统50对样品进行预定温度的降温,使样品承受模拟环境下的低温状态。通过脉冲激光发生器20和冷却系统50可以相对模拟样品在实际环境中所承受的冷热温度变化。通过温度测量装置40可以获取样品表面和/或内部的温度变化。而控制单元60可以控制整个实验过程中各个部件的运行参数,以得到更精确的模拟环境。

[0076] 在本实施方式中,样品的扩展裂纹方向与其所受夹持力方向平行,而且夹持装置31的夹持力大小与样品的裂纹扩展速度成正比,即夹持力越大样品产生定向裂纹的扩展速度越快。

[0077] 本实施方式能够满足不同材料样品以及结构件的热疲劳性能测试,并提供精确的

实验结果,具有重要的科学意义及工程价值。

[0078] 在本发明的一个实施方式中,为方便调整激光的照射距离,该激光固定架21可以通过升降装置11与工作架10连接,工作架10可以包括一根垂直设置的安装柱12,该升降装置11可以包括套在安装柱12上的调节套111,在调节套111的侧边固定有与激光固定架21连接的横杆112,调节套111通过穿过调节套111的固定螺栓113与安装柱12固定。

[0079] 在使用时,具体的脉冲激光发生器20安装在激光固定架21上,其激光发射方向朝向下,通过移动调节套111在安装柱12上的位置,可以粗调脉冲激光发生器与样品的照射距离。在调整至合适位置时,通过拧紧固定螺栓113即可将调节套111固定在安装柱12的当前位置上。为防止调节套111下滑,可以在安装柱12上按列设置多个螺纹孔,再将固定螺栓113拧入相应的螺纹孔中。

[0080] 在其它的实施方式中,也可以在安装柱12上安装相应的齿条结构或滑轮组结构来控制激光固定架11的升降。

[0081] 进一步地,在本发明的一个实施方式中,该脉冲激光发生器20可以包括脉冲激光发生器,和调节脉冲激光发生器的激光输出时空间光强分布的光速变换系统22。

[0082] 在本发明的一个实施方式中,该温度测量装置40可以为红外测温仪和/或热电偶。红外测温仪可以用于获取样品表面的温度,而热电偶可以用于获取样品内部的温度。

[0083] 在本发明的一个实施方式中,该冷却系统50可以包括输送冷却介质的输送管路51,安装在输送管路51上控制冷却介质流量的电磁阀和流量计52。本实施方式中,输送管路51的输出端与放置在样品放置座30上的样品相对,其排出的冷却介质直接作用到样品上,达到充分冷却的目的。具体的冷却介质可以为压缩空气或水。进一步地,在其它实施方式中,可以在样品放置座30的夹持块内设置相应的冷却介质流通通道,直接以夹持块作为冷却媒体。

[0084] 在本发明的一个实施方式中,为方便样品夹持,可以将两块夹持块分为主动夹持块312和被动夹持块311,被动夹持块311包括相互垂直连接的夹持板和滑动座,主动夹持块312放置在滑动座上并可沿滑动座移动,在主动夹持块312或被动夹持块311上设置有压力传感器和位移传感器。

[0085] 在使用时,样品可以放置在被动夹持块311的滑动座上,再驱动主动夹持块312由样品相对被动夹持板311一侧推动样品,最终和被动夹持板311一起将样品夹持住且使其承受恒定的应力。在本实施方式中,被动夹持块311可以仅作为样品承载台与安装架10或其它固定点固定,并被动承受主动夹持块312的挤压。也可以在作为样品承载台的同时,受动力装置的控制而与主动夹持块312相对运动。压力传感器和位移传感器可以分别测量样品受到的压缩载荷以及可移动端的位移量,并反馈给控制单元。

[0086] 具体的夹持块上还可以根据需要设置相应的夹持结构,如夹紧气缸,以固定非对称样品或形状特殊的样品。

[0087] 在本发明的一个实施方式中,该动力装置可以包括分别设置在主动夹持块312和被动夹持块311相对外侧的夹持气缸,夹持气缸在施加夹持力时,可以相对的推动主动夹持块312和被动夹持块311同时对中间的样品进行挤压。

[0088] 动力装置还可以是将被动夹持块311固定,同时用丝杆连接主动夹持块312相对被动夹持块311相对运动的机械夹持结构,如台钳。

[0089] 在本发明的一个实施方式中,为避免样品反射激光,该样品放置座30还可以包括倾斜调节结构,倾斜调节结构包括固定夹持装置31的调节台33,和调节调节台33倾斜角度和旋转角度的调节座,调节座包括旋转台35,和用于插装旋转台35的插座37,以及安装在旋转台35上调整调节台33倾斜角度的高度调节杆34,高度调节杆34通过万向节与调节台33的底面连接,在插座37上设置有固定插入后旋转台35的固定螺栓38。

[0090] 当样品被夹持装置31夹持后,通过拧动高度调节杆34,可控制其上端凸出旋转台35上表面的高度,使其将调节台33以一侧为支点倾斜顶起,也就调整了样品的倾斜角度。调节台33可以通过一侧边与夹持装置31的一侧边轴连接,而高度调节杆34安装在调节台33的另一侧边,通过万向节可使高度调节杆34任意变换方向和角度而不影响调节台33。旋转台35通过固定柱36与插座37插接,使得旋转台35能够在平面上实现360度的旋转,从而调整样品反射激光的方向。插座37可以是安装架10的一部分,也可以是独立的部件。通过将样品调成倾斜状态,可以避免样品表面反射的激光束损坏光束变换系统21或脉冲激光发生器。本实施方式将样品倾斜的目的除了防止样品反射激光损坏光纤及光束变换系统外,还可以方便温度测量装置的探头垂直照射于样品表面,获取更精确的温度值。

[0091] 进一步地,为方便调整样品受热位置,该样品放置座30还可以包括调节样品在平面上任意位置的平面调节装置(图中未示出),平面调节装置包括设置在调节台33与夹持装置31接触一面上的横向调节结构,和设置在工作架10上以固定插座37的纵向调节结构。该横向调节结构可以包括设置在调节台33上内凹或外凸的横向滑槽,夹持装置31通过卡入横向滑槽的滑块与调节台33滑动连接;纵向调节结构可以包括设置在工作架10上的内凹或外凸的纵向滑槽,插座37卡入纵向滑槽后与工作架10滑动连接。

[0092] 在对样品的受热位置进行调节时,可以控制调节台33在横向滑槽上滑动至预定位置,再控制插座37在纵向滑槽上滑动至预定位置,从而使样品可在一定范围内到达平面内任一点位置。

[0093] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

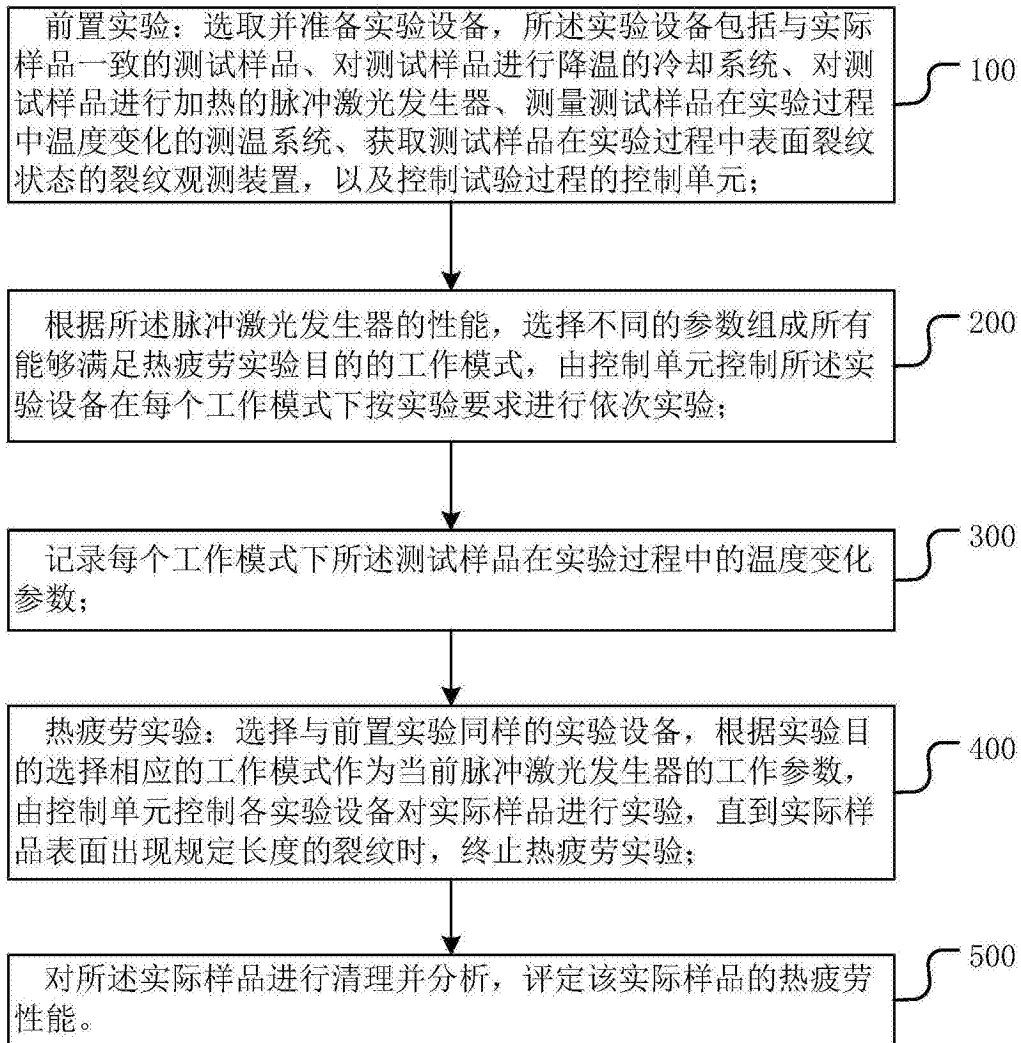


图1

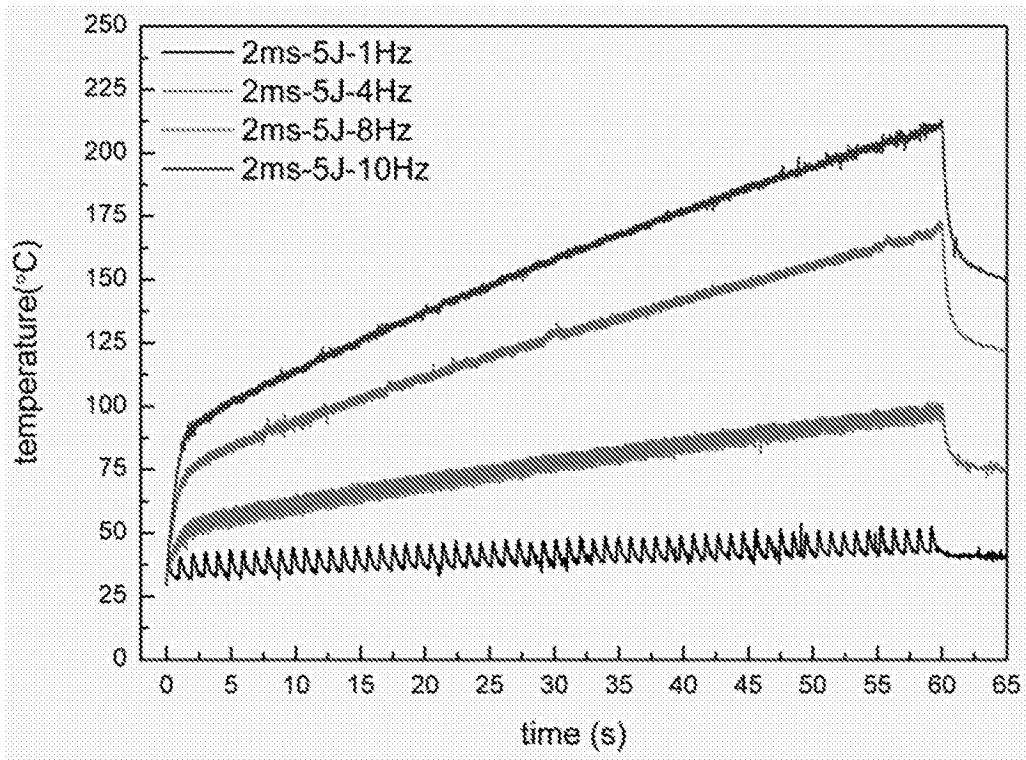


图2

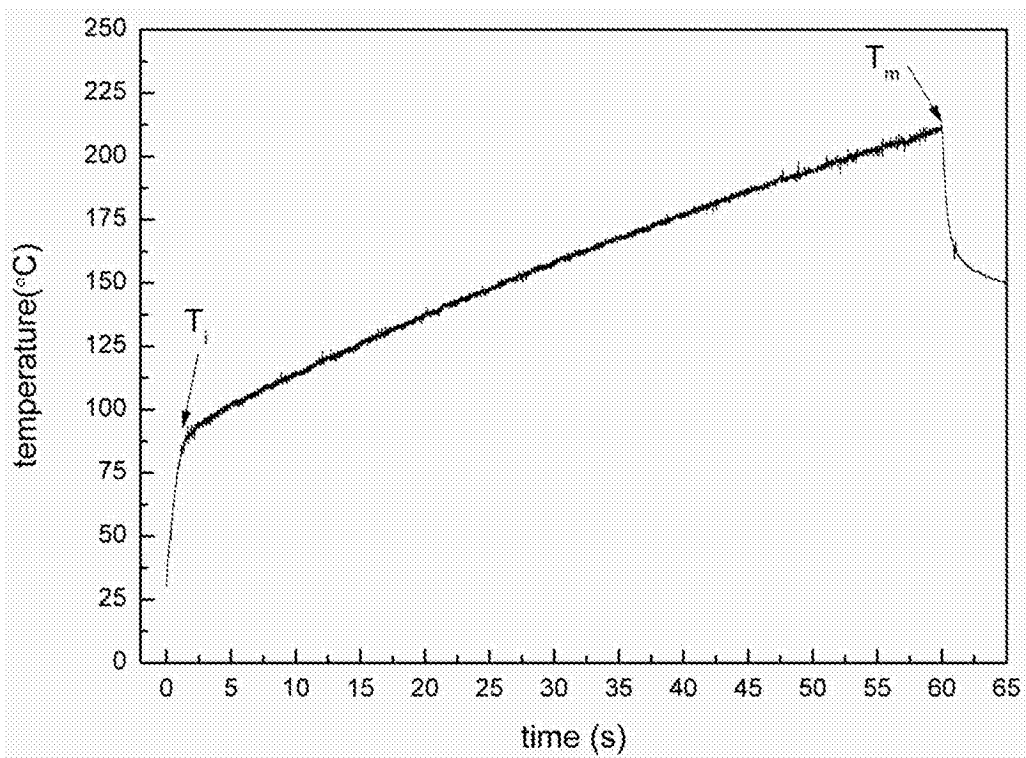


图3

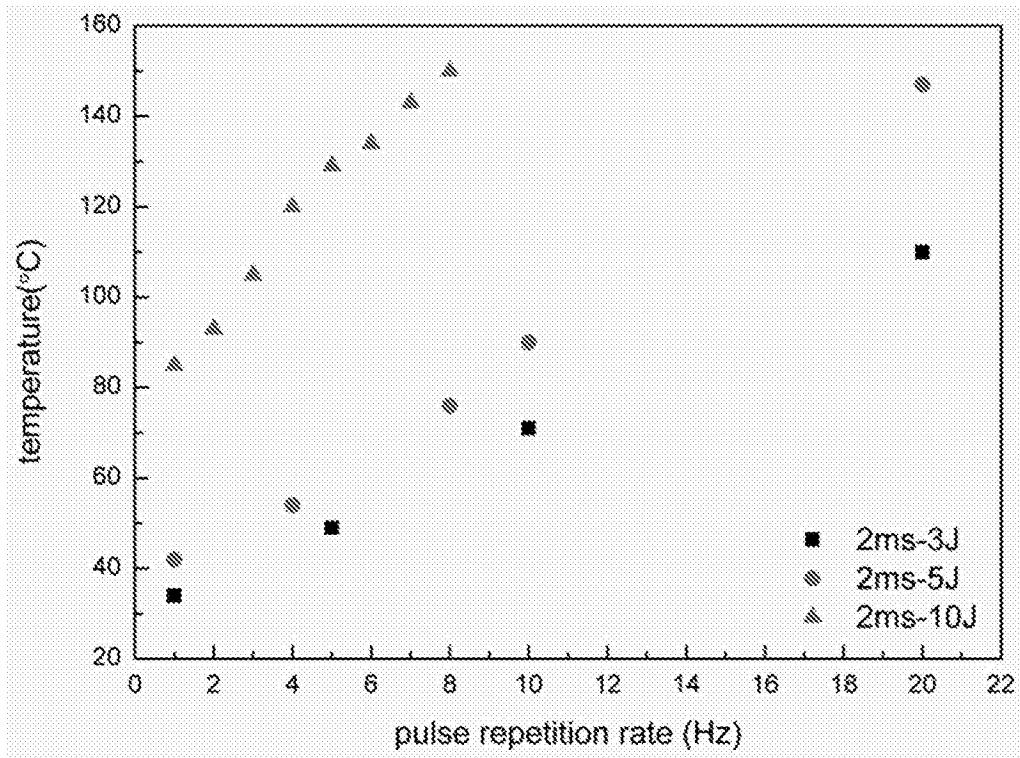


图4

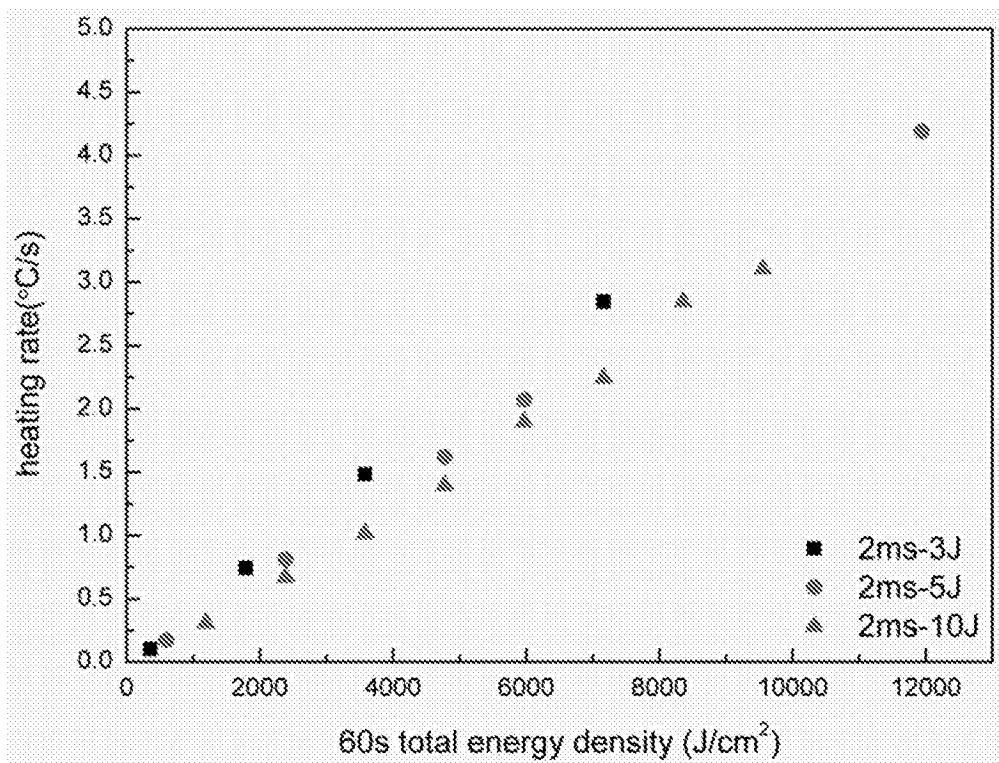


图5

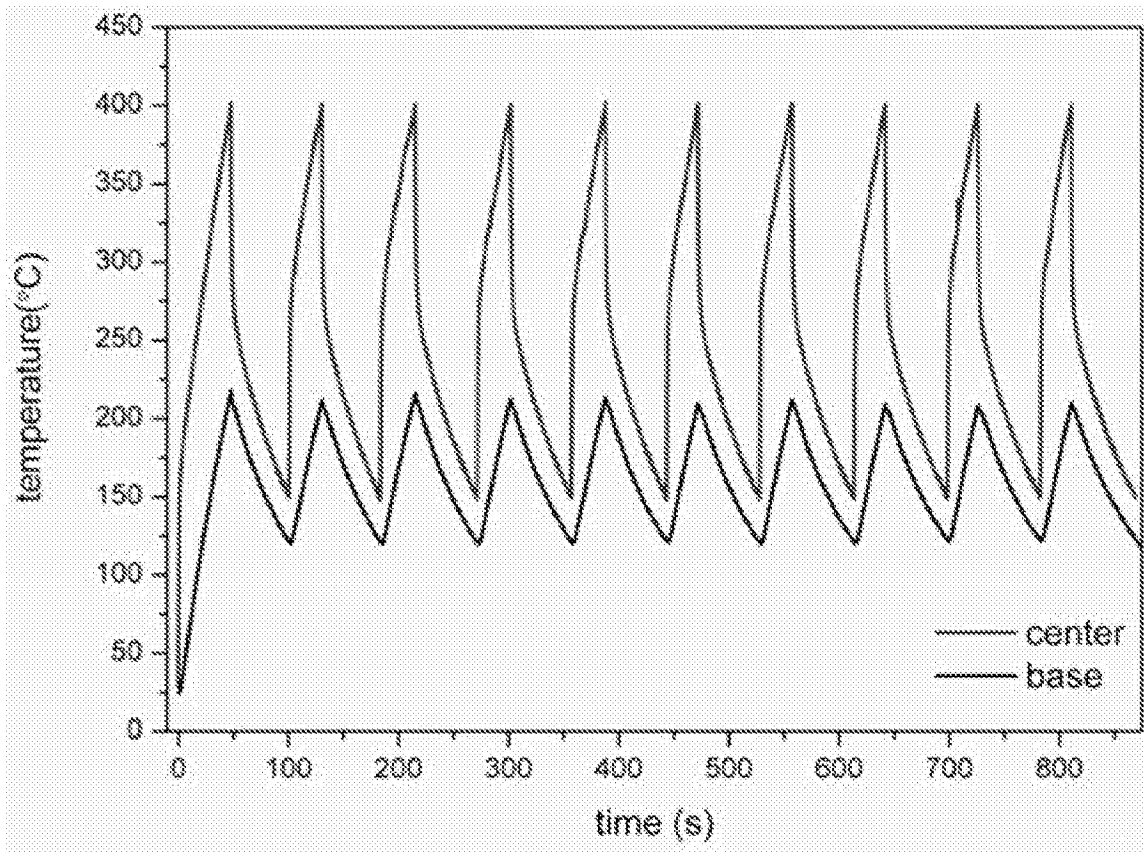


图6

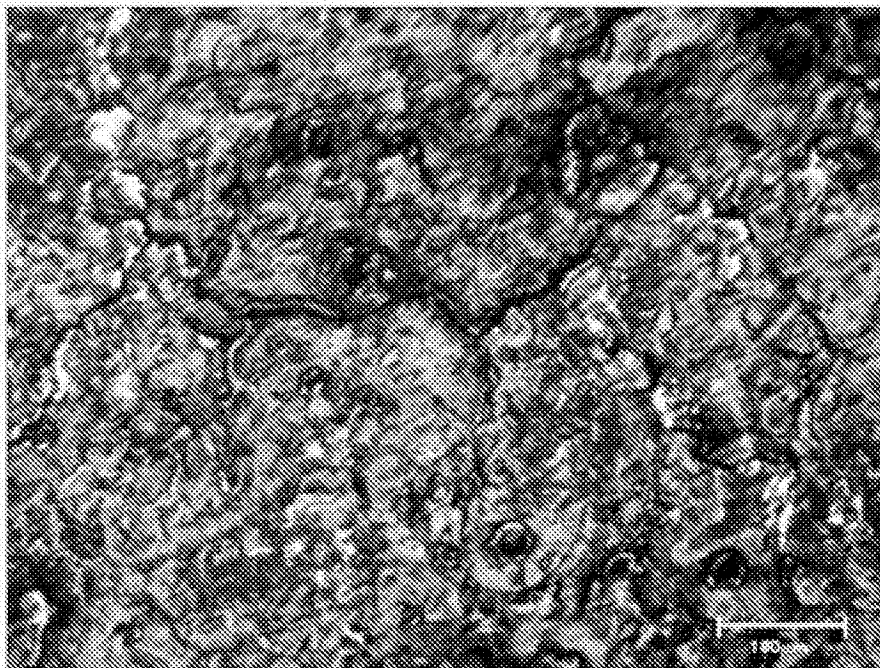


图7

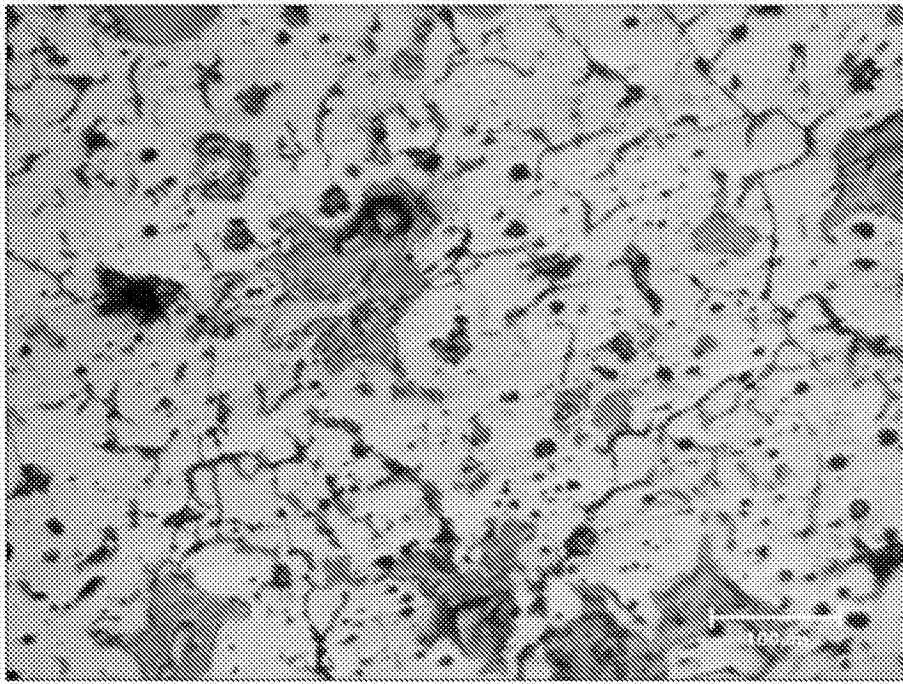


图8

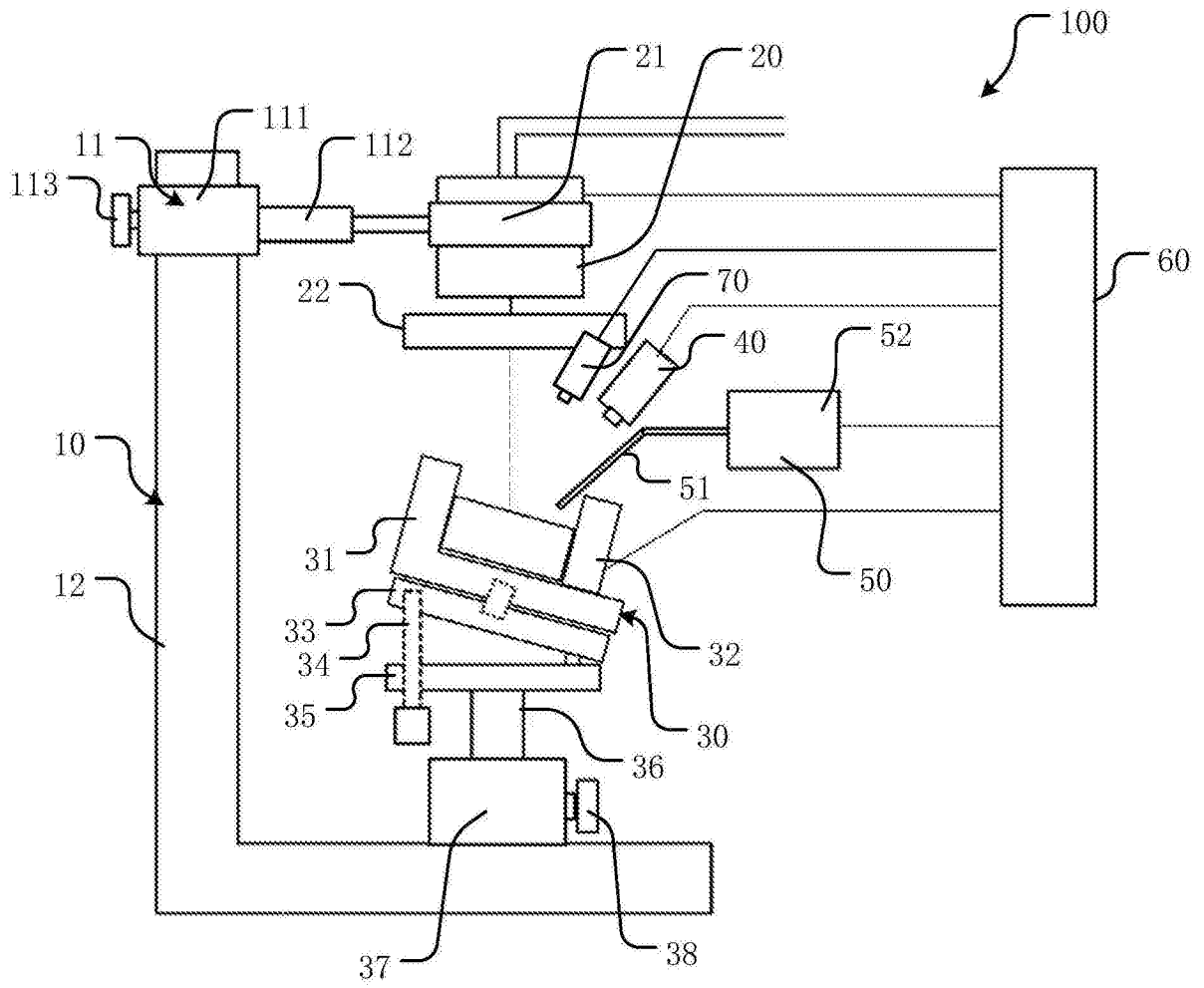


图9