



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109324079 B

(45) 授权公告日 2020.11.06

(21) 申请号 201811236329.2

审查员 尹文杰

(22) 申请日 2018.10.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109324079 A

(43) 申请公布日 2019.02.12

(73) 专利权人 中国特种设备检测研究院

地址 100029 北京市朝阳区和平街西苑2号楼

(72) 发明人 胡斌 魏东 石友安 李伟斌

刘磊 李睿智 桂业伟

(74) 专利代理机构 北京世誉鑫诚专利代理有限公司

11368

代理人 郭官厚

(51) Int. Cl.

G01N 25/16 (2006.01)

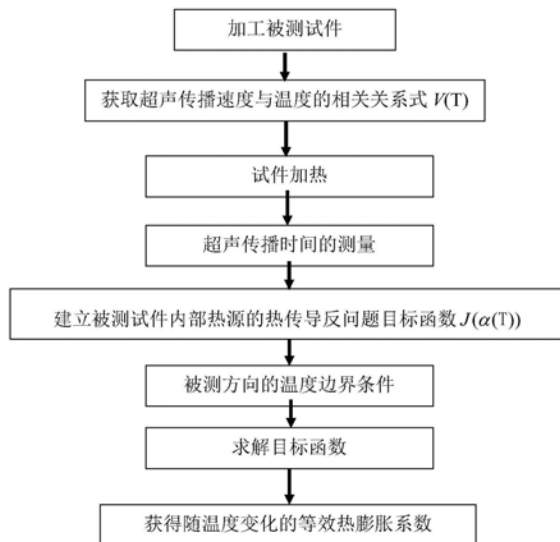
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法,该方法基于声传播特性、介质温度、材料热膨胀系数三者之间的关联关系,采用超声回波法,根据超声传播测量时间和参数识别,实现了高温条件下材料热膨胀系数的无损、快速测量。本发明仅需进行升温测量一次,例如将被测试件加热面进行升温到预定温度值如500℃,即可获得室温至500℃不同温度下的材料热膨胀系数,具有测量速度快、周期短、成本低、操作简便等特点。



1. 一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:加工一与被测物体材质相同的被测试件,被测试件为长方体或圆柱体,选定某一被测方向,设定其为x方向,L为被测试件沿被测方向的长度,L大于一个超声波波长;

步骤二:获取被测试件内超声波传播速度V与不同温度条件下温度T的相关关系,拟合出V与T的相关关系式 $V(T)$, $V(T)$ 为线性函数或二次函数,其中,T为被测试件整体温度达到一致的条件下的温度值;

步骤三:记录被测试件的初始温度 T_0 ,沿被测方向x方向从被测试件 $x=0$ 处的一端进行加热,直至被测试件所述 $x=0$ 处的加热端的温度高于测量的预定温度时,结束加热;

在所述加热初始至结束的过程中,进行以下步骤四至步骤五,随后,基于步骤四、步骤五的结果,进行步骤六;

步骤四:沿所选定的被测方向x方向,由超声波脉冲回波法,获得被测试件 t_i 时刻的超声波传播测量时间 $t_{i,exp}$,即在步骤三所述加热初始至结束的过程中进行多次测量,下标i表示测量时间序数, $i=1,2,\dots,n$,共测量n次;当被测试件加热端的温度高于预定温度时,进行第n次测量,获得 $t_{n,exp}$;

步骤五:基于步骤二的相关关系式 $V(T)$,和步骤四的超声波传播时间 $t_{i,exp}$,建立被测试件内部热源的热传导反问题目标函数为:

$$J(\alpha(T)) = \sum_{i=1}^n \left\{ 2 \int_0^L \frac{1 + \alpha(T) \Delta T}{V[T(t_i)]} dx - t_{i,exp} \right\}^2 = \sum_{i=1}^n \{ t_{i,cal} - t_{i,exp} \}^2 \quad (1)$$

式中, $\alpha(T)$ 为待测量的温度T条件下的材料等效热膨胀系数; $T(t_i)$ 为被测试件 t_i 时刻加热端的温度值; $t_{i,cal}$ 为超声波传播计算时间,是将 t_i 时刻对应的被测试件加热端的温度值 $T(t_i)$ 代入步骤二所得的相关关系式 $V(T)$ 得到的V,再根据L与V计算得到的; $t_{i,exp}$ 为步骤四中实际测量得到的 t_i 时刻的超声波传播测量时间; $\Delta T = T(x, t_i) - T_0$ 为被测试件内沿被测方向x方向上坐标为x的点的温度的上升值;

所述目标函数的约束条件为:

$$S.t. \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[k(T) \frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial x} \right] = \rho C_p \frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial t} \quad (2a)$$

$$T(x, t), t > 0, x \in [0, L] \quad (2b)$$

式中, $k(T)$ 为被测试件材料的导热系数,为温度T的函数; C_p 和 ρ 分别为被测试件材料的比热容和密度; $T_{(x,t)}$ 表示所述加热初始至结束的过程中所述试件内部形成的温度梯度场中,沿被测方向x方向上一点的温度随时间t和坐标x的分布; $T_{(x,t)}|_{x=0/x=L}$ 为边界条件,通过红外测温方法或热电偶测温方法获得;

步骤六:采用灵敏度法或梯度算法求解所述目标函数,获得不同温度条件下被测试件的等效热膨胀系数 $\alpha(T)$,即得到了被测试件材料的热膨胀系数。

2. 根据权利要求1所述的一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法,其特征在于,所述步骤三的具体步骤为,当需要获得一预定温度下的材料热膨胀系数时,对被测试件加热的边界温度高于所述预定温度,即步骤三所述加热过程结束时,加热端的温度高于预定温度。

3. 根据权利要求1所述的一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法,其特征在于,所

述超声为电磁超声或激光超声。

一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于超声检测技术领域,具体涉及一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法。

背景技术

[0002] 热膨胀系数是材料的重要热学性能参数之一,也是结构热固耦合特性分析中的关键参数。目前,热膨胀系数的测量方法主要有相对比较法和绝对比较法两种,按测量原理又分为电测量法、光测量法和位移测量法。总体来说,国内外关于材料热膨胀系统的测量研究较为成熟,但多数实验测量存在测量设备价格昂贵、测量系统构成复杂、或者抗干扰或受人为因素制约等局限性。

[0003] 本发明根据超声传播特性——介质温度——材料热膨胀系数三者之间的关联关系,采用热声理论,基于超声回波技术,可快速、简便、准确地测量材料随温度变化的热膨胀系数。相比现有的热膨胀系数测量方法,本发明一方面,具有测量装置简单,操作相对简便,适用于大尺寸试样测试以及试样内部处于非均匀温度场分布等条件;另一方面,由于该方法可以非接触式测量,提高了传感器耐高温性能,可有效提升测温范围。同时,本发明采用瞬态升温测量法,仅需进行升温测量一次,例如被测试件加热面进行升温到预定温度值如 500°C ,即可获得室温至 500°C 不同温度下的材料热膨胀系数,可极大地缩短测量周期。

发明内容

[0004] 针对现有技术存在的以上问题,本发明提出一种基于超声的材料热膨胀系数的测量方法,适用于材料随温度变化的等效热膨胀系数的无损非接触式测量。其采用超声回波法,由瞬态传热条件下超声传播时间,基于热传导反问题的参数识别方法,可无损、快速地测量材料随温度变化的热膨胀系数常数。

[0005] 为实现上述目的,本发明的技术方案具体如下:

[0006] 包括以下步骤:

[0007] 步骤一:加工一与被测物体材质相同的被测试件,被测试件为长方体或圆柱体,选定某一被测方向,设定其为 x 方向, L 为被测试件沿被测方向的长度, L 大于一个超声波波长;

[0008] 步骤二:获取被测试件内超声波传播速度 V 与不同温度条件下温度 T 的相关关系,拟合出 V 与 T 的相关关系式 $V(T)$, $V(T)$ 为线性函数或二次函数,其中, T 为被测试件整体温度达到一致的条件下的温度值;

[0009] 步骤三:记录被测试件的初始温度 T_0 ,沿被测方向 x 方向从被测试件 $x=0$ 处的一端进行加热,直至被测试件所述 $x=0$ 处的加热端的温度高于测量的预定温度时,结束加热;

[0010] 在所述加热初始至结束的过程中,进行以下步骤四至步骤五,随后,基于步骤四、步骤五的结果,进行步骤六;

[0011] 步骤四:沿所选定的被测方向 x 方向,由超声波脉冲回波法,获得被测试件 t_i 时刻的超声波传播测量时间 $t_{i,exp}$,即在步骤三所述加热初始至结束的过程中进行多次测量,下

标*i*表示测量时间序数, $i=1,2,\dots,n$,共测量*n*次;当被测试件加热端的温度高于测量的预定温度时,进行第*n*次测量,获得 $t_{n,exp}$;

[0012] 步骤五:基于步骤二的相关关系式 $V(T)$,和步骤四的超声波传播时间 $t_{i,exp}$,建立被测试件内部热源的热传导反问题目标函数为:

$$[0013] \quad J(\alpha(T)) = \sum_{i=1}^n \left\{ 2 \int_0^L \frac{1 + \alpha \Delta T}{V[T(t_i)]} dx - t_{i,exp} \right\}^2 = \sum_{i=1}^n \{t_{i,cal} - t_{i,exp}\}^2 \quad (1)$$

[0014] 式中, $\alpha(T)$ 为待测量的温度 T 条件下的材料等效热膨胀系数; $T(t_i)$ 为被测试件 t_i 时刻加热端的温度值; $t_{i,cal}$ 为超声波传播计算时间,是将 t_i 时刻对应的被测试件加热端的温度值 $T(t_i)$ 代入步骤二所得的相关关系式 $V(T)$ 得到的 V ,再根据 L 与 V 计算得到的; $t_{i,exp}$ 为步骤四中实际测量得到的 t_i 时刻的超声波传播测量时间; $\Delta T = T(x, t_i) - T_0$ 为被测试件内沿被测方向 x 方向上坐标为 x 的点的温度的上升值;

[0015] 所述目标函数的约束条件为:

$$[0016] \quad S.t. \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[k(T) \frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial x} \right] = \rho C_p \frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial t} \quad (2a)$$

$$[0017] \quad T(x, t), t > 0, x \in [0, L] \quad (2b)$$

[0018] 式中, $k(T)$ 为被测试件材料的导热系数,为温度 T 的函数; C_p 和 ρ 分别为被测试件材料的比热容和密度; $T_{(x,t)}$ 表示所述加热初始至结束的过程中所述试件内部形成的温度梯度场中,沿被测方向 x 方向上一点的温度随时间 t 和坐标 x 的分布; $T_{(x,t)}|_{x=0/x=L}$ 为边界条件,通过红外测温方法或热电偶测温方法获得;

[0019] 步骤六:采用灵敏度法或梯度算法求解所述目标函数,获得不同温度条件下被测试件的等效热膨胀系数 $\alpha(T)$,即得到了被测试件材料的热膨胀系数。

[0020] 进一步地,所述步骤三的具体步骤为,当需要获得一预定温度下的材料热膨胀系数时,对被测试件加热的边界温度应高于所述预定温度,即步骤三所述加热过程结束时,加热端的温度高于预定温度。

[0021] 进一步地,所述超声为电磁超声或激光超声。

[0022] 本发明具有如下优点和积极效果:

[0023] 1、所述方法为瞬态升温测量法,仅需进行升温测量一次,例如将被测试件加热面进行升温到预定温度值如 500°C ,即可获得室温至 500°C 不同温度下的等效热膨胀系数,具有测量速度快、周期短、成本低、操作简便等优势,适用于大尺寸试样测试以及试样内部处于非均匀温度场分布等条件。

[0024] 2、基于电磁超声或激光超声进行非接触测量时,材料的等效热膨胀系数测量几乎不受传感器耐温性能的影响,具有测量范围大的优点;同时,基于超声测温原理,该方法对高温条件下的材料等效热膨胀系数具有更佳的测量精度。

附图说明

[0025] 图1为材料热膨胀系数测量方法的流程。

[0026] 图2为材料热膨胀系数随温度变化的测量结果。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的说明。

[0028] 本发明所述基于超声的材料热膨胀系数的测量方法的具体流程如图1所示。

[0029] 步骤一：加工一与被测物体材质相同的被测试件，被测试件为长方体或圆柱体，选定某一被测方向，设定其为x方向，L为被测试件沿被测方向的长度，L大于一个超声波波长；

[0030] 步骤二：获取被测试件内超声波传播速度V与不同温度条件下温度T的相关关系，拟合出V与T的相关关系式V(T)，V(T)为线性函数或二次函数，其中，T为被测试件整体温度达到一致的条件下的温度值；

[0031] 步骤三：记录被测试件的初始温度T₀，沿被测方向x方向从被测试件x=0处的一端进行加热，直至被测试件所述x=0处的加热端的温度高于测量的预定温度时，结束加热；

[0032] 在所述加热初始至结束的过程中，进行以下步骤四至步骤五，随后，基于步骤四、步骤五的结果，进行步骤六；

[0033] 当需要获得预定温度500℃下的材料热膨胀系数时，被测试件的底部即加热端由平板加热器加热至500℃以上，其余表面皆为绝热面，

[0034] 步骤四：沿所选定的被测方向x方向，由超声波脉冲回波法，获得被测试件t_i时刻的超声波传播测量时间t_{i,exp}，即在步骤三所述加热初始至结束的过程中进行多次测量，下标i表示测量时间序数，i=1,2,⋯,n，共测量n次；当被测试件加热端的温度高于测量的预定温度时，进行第n次测量，获得t_{n,exp}；

[0035] 沿所选定的被测方向，将超声探头置于被测试件与加热端即底部相对的上端面，采用垂直入射方式激发脉冲超声波，获得n个t_{i,exp}，i=1,2,⋯,n；

[0036] 步骤五：基于步骤二的相关关系式V(T)，和步骤四的超声波传播时间t_{i,exp}，建立被测试件内部热源的热传导反问题目标函数为：

$$[0037] \quad J(\alpha(T)) = \sum_{i=1}^n \left\{ 2 \int_0^L \frac{1 + \alpha \Delta T}{V[T(t_i)]} dx - t_{i,exp} \right\}^2 = \sum_{i=1}^n \{ t_{i,cal} - t_{i,exp} \}^2 \quad (1)$$

[0038] 式中，α(T)为待测量的温度T条件下的材料等效热膨胀系数；T(t_i)为被测试件t_i时刻加热端的温度值；t_{i,cal}为超声波传播计算时间，是将t_i时刻对应的被测试件加热端的温度值T(t_i)代入步骤二所得的相关关系式V(T)得到的V，再根据L与V计算得到的；t_{i,exp}为步骤四中实际测量得到的t_i时刻的超声波传播测量时间；ΔT=T(x,t_i)-T₀为被测试件内沿被测方向x方向上坐标为x的点的温度的上升值；

[0039] 所述目标函数的约束条件为：

$$[0040] \quad S.t. \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[k(T) \frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial x} \right] = \rho C_p \frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial t} \quad (2a)$$

$$[0041] \quad T(x,t), t > 0, x \in [0, L] \quad (2b)$$

[0042] 式中，k(T)为被测试件材料的导热系数，为温度T的函数；C_p和ρ分别为被测试件材料的比热容和密度；T_(x,t)表示所述加热初始至结束的过程中所述试件内部形成的温度梯度场中，沿被测方向x方向上一点的温度随时间t和坐标x的分布；T_{(x,t)|_{x=0/x=L}为边界条件，通过红外测温方法或热电偶测温方法获得；}

[0043] 步骤六：采用灵敏度法或梯度算法求解所述目标函数，获得不同温度条件下被测

试件的等效热膨胀系数 $\alpha(T)$ ，即得到了被测试件材料的热膨胀系数。

[0044] 即经过步骤四和步骤五以基于测量底面回波传播时间的变化，通过步骤六求解所述目标函数，获得材料的等效热膨胀系数。

[0045] 图2给出了根据本发明所述方法获得的材料随温度变化的热膨胀系数测量结果。图中实线部分是由实验数据预先拟合获得的已知被测材料室温至470°C范围内热膨胀系数真值为：

$$[0046] \quad \alpha(T) = 4 \times 10^{-14} \times T^3 - 2 \times 10^{-11} \times T^2 - 1 \times 10^{-8} \times T + 1 \times 10^{-5}$$

[0047] 其中T为温度。带方块标识的实线为本发明所述方法测量所获得的以6分段函数表征的测量结果，除初始状态外，其余温度条件下的等效热膨胀系数与真值基本吻合，平均误差小于1.2%。

[0048] 上述实施方式为本发明较佳的实施方式，但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制，其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合和/或简化，均应视为等效的置换方式，均应包含在本发明的保护范围之内。

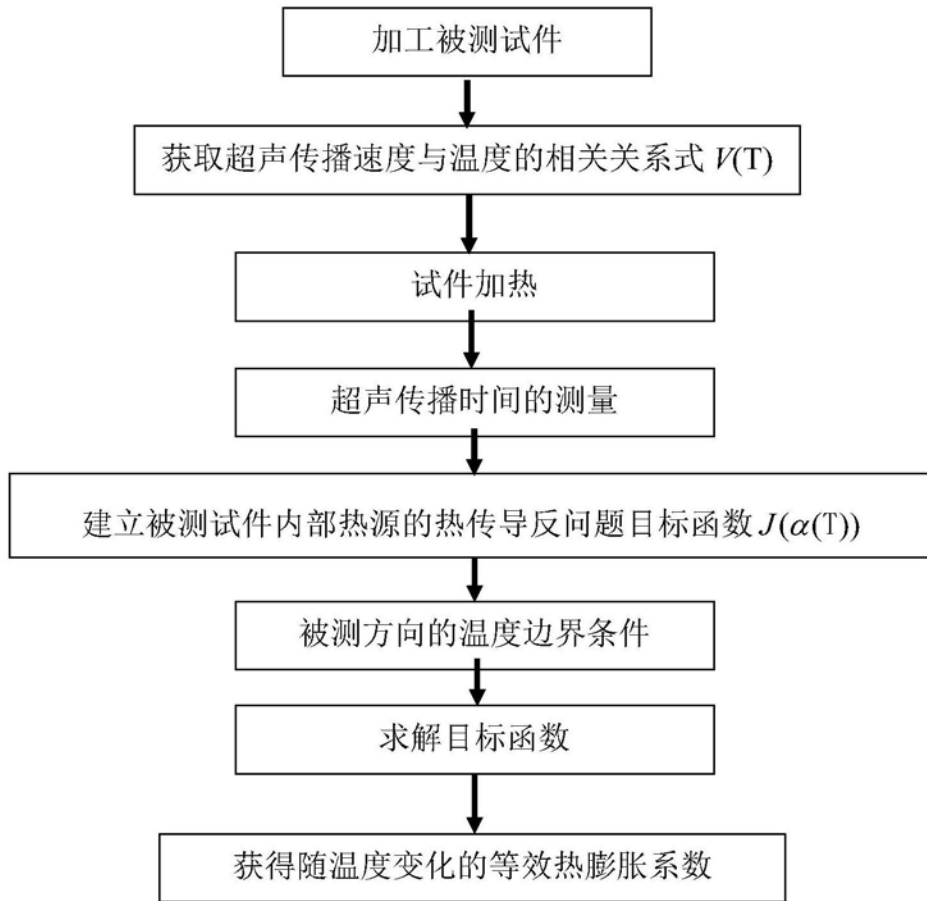


图1

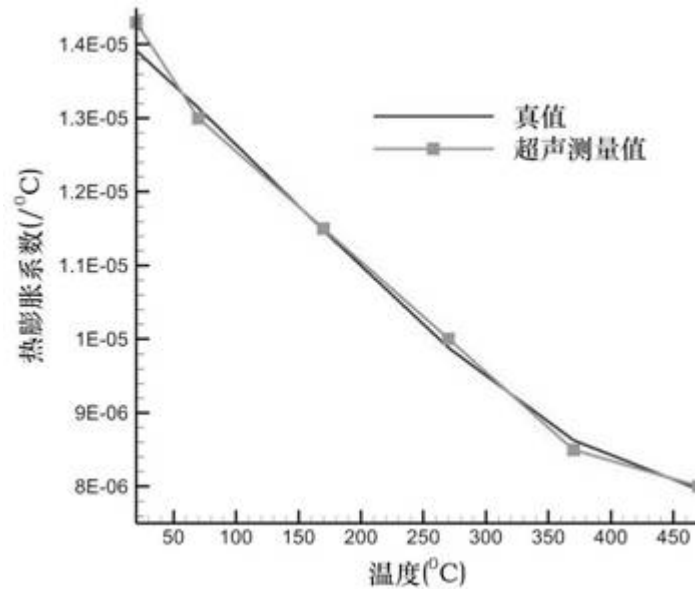


图2