



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105793699 A

(43)申请公布日 2016.07.20

(21)申请号 201480066127.1

(22)申请日 2014.12.03

(30)优先权数据

14/097,143 2013.12.04 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.06.03

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/068275 2014.12.03

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/084909 EN 2015.06.11

(71)申请人 沃特洛电气制造公司

地址 美国密苏里州

(72)发明人 穆罕默德·诺斯拉蒂

卡尔·斯汪森

凯文·帕塔斯恩斯基

凯文·R·史密斯

路易斯·P·辛德豪尔

(74)专利代理机构 北京万慧达知识产权代理有

限公司 11111

代理人 朱凤成 段晓玲

(51)Int.Cl.

G01N 25/18(2006.01)

G01N 25/72(2006.01)

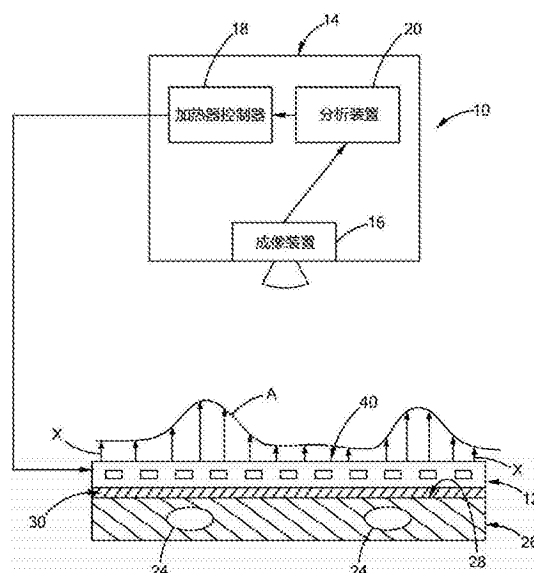
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

热成像检测系统

(57)摘要

本发明公开了一种红外热成像检测系统(10),该系统包括热源(12),该热源(12)配置成可移除地附接到对象(26)的外表面(28)。热成像装置(16)获得对象(26)的热图像,而分析装置(20)基于热图像来确定在对象(26)中的缺陷(24)的位置。热源(12)包括柔性聚酰亚胺加热器(12),所述柔性聚酰亚胺加热器(12)包括独立受控的多个加热元件(42),且该柔性加热器能适合对象(26)的外表面(28)。



1. 一种热成像检测系统,包括:
热源,其被配置成可移除地附接到对象的外表面;
热成像装置,其获得所述对象的热图像;以及
分析装置,其基于所述热图像确定所述对象中缺陷的位置。
2. 根据权利要求1所述的热成像检测系统,其中,所述热源是具有片状结构的加热器。
3. 根据权利要求1或2所述的热成像检测系统,其中,所述热源产生热量,并且所述热量通过热传导传递到所述对象的所述外表面。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的热成像检测系统,其中,所述热源与所述对象的所述外表面直接接触。
5. 根据权利要求1至4中任一项所述的热成像检测系统,其中,所述热源进一步包括将所述加热器连接到所述外表面的粘合膜。
6. 根据权利要求1至5中任一项所述的热成像检测系统,其中,所述热源包括独立可控的多个加热元件。
7. 根据权利要求6所述的热成像检测系统,其中,所述多个加热元件沿着所述对象的所述外表面设置。
8. 根据权利要求6或7所述的热成像检测系统,其中,所述多个加热元件不同地通电,以提供不同的热能。
9. 根据权利要求6或7所述的热成像检测系统,其中,所述多个加热元件同时通电。
10. 根据权利要求1至9中任一项所述的热成像检测系统,其中,所述热源包括聚酰亚胺加热器。
11. 根据权利要求1至10中任一项所述的热成像检测系统,其中,所述热成像装置包括红外摄像机。
12. 根据权利要求11所述的热成像检测系统,其中,所述红外摄像机在预定时间段内连续地获取多个热图像。
13. 根据权利要求1至12中任一项所述的热成像检测系统,其中,所述分析装置基于所述外表面上的温升来确定所述缺陷的位置。
14. 一种检测对象的方法,包括:
将热源可移除地附接至对象的外表面;
将所述热源通电以产生热量;
通过热传导将所述热量传递至所述对象的所述外表面;
获取所述热源的所述外表面的热图像;以及
基于所述热图像确定所述对象中的缺陷的位置。
15. 根据权利要求14所述的方法,进一步包括使用粘合膜将所述热源可移除地附接至所述对象的所述外表面。
16. 根据权利要求14或15所述的方法,其中,所述热源包括多个电阻加热元件。
17. 根据权利要求16所述的方法,进一步包括独立地控制所述多个电阻加热元件。
18. 根据权利要求16或17所述的方法,进一步包括以阵列并且沿着所述对象的外表面布置所述多个电阻加热元件。
19. 根据权利要求14至18中任一项所述的方法,进一步包括在与所述多个加热元件对

应的多个位置处分析所述外表面的所述温度,以确定所述缺陷的位置。

20.一种检测对象的方法,包括:

通过热传导经由所述对象的外表面将热量引入到所述对象中;

获取所述热源的所述外表面的热图像;以及

基于所述热图像来确定所述对象中缺陷的位置。

热成像检测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测(NDT),更具体地涉及热成像检测系统及用于检测对象的方法。

背景技术

[0002] 此部分的陈述仅提供与本发明相关的背景信息,而且可以不构成现有技术。

[0003] 无损检测(NDT)通常涉及将外部激励引入对象来检测对象,而无需永久地改变对象的材料属性。热成像法是一种无损检测技术且使用外部能量源来加热对象且引起对象中缺陷区域和非缺陷区域之间的温差。一种常用的热成像检测技术使用光学激励,其中来自闪光灯(诸如氙气闪光灯)的脉冲光传递至对象。一旦到达对象的外表面,则光转换成热量,其反过来以热波的形式传播进对象的内部。当热波碰到对象中缺陷或空隙时,热波的传播将被阻碍且反射回对象的外面。反射热波引起在外表面上的局部热量上升。红外摄像机可用于捕获热图像,即在外表面上的热图案。通过分析外表面上的温差,可以确定缺陷或空隙的位置。

[0004] 典型的由光学激励的热成像法具有它的局限性。闪光灯将热波引入进对象内部的能力高度取决于待检测的对象的光学属性。具有高反射率和低透射率的对象能够容易地反射离开对象外表面的脉冲光,且允许较低的热量被转换并进入对象。因此,进入对象的热量可能不足以引起可接受范围内、采用热成像摄像机能够容易看见的表面温差。

[0005] 此外,由光学激励的热成像法容易受环境反射以及表面几何形状的影响,且并不能用于具有复杂形状和曲率的对象。

发明内容

[0006] 在本发明的一种形式中,提供了一种热成像检测系统,其包括热源、热成像装置,以及分析装置。热源被配置成可移除地附接至对象的外表面。热成像装置获得对象的热图像。分析装置基于热图像确定对象中缺陷的位置。

[0007] 在本发明的另一个形式中,检测对象的方法包括:可移除地将热源附接至对象的外表面;激励热源来产生热量;通过热传导,将热量传递至对象的外表面;获取外表面的热图像;以及基于热图像来确定对象中的缺陷的位置。

[0008] 在另一个形式中,检测对象的方法包括:通过热传导经由对象的外表面将热量引入到对象中;获取外表面的热图像;以及基于热图像来确定对象中缺陷的位置。

[0009] 进一步的应用领域从本文中提供的说明中变得显而易见。应当理解的是,说明和具体示例仅仅是用于说明的目的,并不旨在限制本发明的范围。

附图说明

[0010] 为了更好地理解本发明,借助于示例给出,在此将描述其多种形式,参考附图,其中:

- [0011] 图1是根据本发明的教导构造的热成像检测系统的示意图；
- [0012] 图2是根据本发明的教导构造的热成像检测系统的像素加热器的横截面图；
- [0013] 图3是根据本发明的教导构造的热成像检测系统的像素加热器的平面图；以及
- [0014] 图4是根据本发明的教导检测对象的方法的流程图。
- [0015] 本文所述的附图仅仅用于说明的目的，并不旨在以任何方式来限制本发明的范围。

具体实施方式

[0016] 以下的说明在本质上仅仅是示例性的，且并不旨在限制本发明、应用或用途。

[0017] 参考图1，根据本发明教导的热成像检测系统10包括像素加热器12和控制系统14。控制系统14包括用于控制像素加热器12的加热器控制器16、获取像素加热器12的热图像的成像装置18，以及确定对象26中的内部结构（诸如缺陷或空隙24）的位置的分析装置20。像素加热器12形成为片状结构并且可移除地附接到对象26的外表面28。术语“片状”在本文被定义为板、大体上扁平的材料片。片状结构可以因此具有许多整体形状，诸如矩形、正方形、圆形、三角形等，或可以定制形状以配合特定对象26。优选地，加热器12的片状结构是柔性的以适合正被分析的对象26的轮廓。同样地，片状结构本身可以包括用于特定应用的轮廓（即，大体上对应于对象26的轮廓），更相似地，材料片是波状外形，并形成衣服的形状以配合人类的外形。

[0018] 像素加热器12可以进一步包括自粘合膜30，其有助于像素加热器12附接到对象26的外表面28或从对象26的外表面28移除像素加热器12。因而，像素加热器12与对象26的外表面28直接接触。可替代地，像素加热器12可以设置在对象26上，其中一个或多个材料层（未示出）设置在像素加热器12与对象26的外表面28之间，而不脱离本发明的范围，前提是来自像素加热器12的热量可通过热传导传递到对象26，且对象26的热图像可由成像装置18捕获。例如，粘合膜30无需与像素加热器12形成为一体，而是可以单独形成并且被设置用于将加热器12附接到对象26。同样地，在一些应用中，粘合剂可以不必需要，且像素加热器12直接铺设在对象26的外部上。

[0019] 参考图1，虽然对象26的外表面28被示为平坦表面，但是像素加热器12由于其片状结构和柔性可易于适合具有非平坦表面或复杂形状或曲率的对象。

[0020] 参考图2和3，像素加热器12包括基底32、设置在基底32上的介电层34、设置在介电层34上的电阻加热层36和设置在电阻加热层34上并且封装电阻加热层34的保护层38。像素加热器12具有外表面40，其是保护层38的上表面。电阻加热层36包括多个电阻加热元件42，所述多个电阻加热元件42可由加热器控制器16独立控制并且设置以阵列布置的多个加热区域44中（图3）。多个电阻加热元件42沿对象26的外表面28布置并且设置靠近对象26的外表面28。因此，来自多个电阻加热元件42的热能可通过热传导精确地传递到对象26中的关注区域并且不受对象26的反射性和透射性影响。本文所述的每个电阻加热元件42由控制系统控制。控制系统可以以各种形式，一些形式在标题是“控制热阵列的系统和方法(System and Method for Controlling a Thermal Array)”的第13/598,939号待审美国专利申请和标题是“热阵列系统(Thermal Array System)”的第13/598977号美国专利申请中更详细地阐述，且这两个专利申请均与本申请一起转让并且其公开通过全部引用并入在本文中。

通常,控制系统具有与电阻加热元件42通信的多组电力线以及与电力线和电阻加热元件42电通信的多个可编址控制元件,从而提供对像素加热器12的选择性控制。

[0021] 像素加热器12可以是层状加热器,其中,包括介电层34、电阻加热层36和保护层38的多个功能层由分层工艺制成,诸如厚膜、薄膜、热喷涂和溶胶-凝胶。尽管被示为小方格或“像素”,但电阻加热元件42还可采用细长条、同心圆等的形式。可替代地,像素加热器12可以是聚酰亚胺加热器。像素加热器12可通过多种形式电连接至电源(未示出),包括那些在美国专利申请号13/599648标题为“高清晰度加热器及操作方法”中所述的形式,且与本申请共同被转让,且它们的内容在本文通过全部引用被并入。

[0022] 返回参考图1,热成像检测系统10的加热器控制器16可以激活像素加热器12的多个电阻加热元件42以产生热量,热量转而以热波的形式朝向对象26传播。当热波朝向对象26的内部传播且碰到缺陷24时,热波由缺陷24反射且朝向像素加热器12的外表面40行进。箭头X指示在多个位置处的像素加热器12的外表面40上的热强度。线A示出了沿着像素加热器12的外表面40的热能量分布。如图所示,由于额外的反射热波,在缺陷24位置处存在的热能量较高。

[0023] 可以是红外摄像机的成像装置18捕获像素加热器12的外表面40的热图像。已知的是,所有的对象基于它们的温度会发射红外辐射且由对象发射出的辐射量随着温度升高而增加。因此,红外摄像机通过记录像素加热器12的外表面40的热图像能够捕获像素加热器12的外表面40上的温度变化。

[0024] 一旦加热器控制器16激活电阻加热元件42,热图像被连续地记录。热图像每个都包括对应于多个加热区域44的多个像素。热图像上的多个像素每个可具有表示像素加热器12的外表面40的温度的颜色。当一个或多个像素的颜色显著地偏离邻近像素的颜色时,可以确定的是,与这个或这些像素对应的特定加热区域44与剩余区域相比具有更高或更低的温度。因此,可以确定的是,在对象26中的特定加热区域44下方存在缺陷。

[0025] 由成像装置18获取的图像被发送至分析装置20,以分析热图像,计算表面温度,以及确定缺陷的位置。分析装置20可通过使用以下公式来计算表面温度:

$$[0026] \quad T_{surf}(t) - T_{surf}(0) = \frac{Q}{k\rho c\sqrt{\pi t}}$$

[0027] 其中, $T_{surf}(t)$ 是在时间t处的表面温度;

[0028] $T_{surf}(0)$ 是在时间0处的表面温度;

[0029] Q为每单元面积的输入热能量;

[0030] k是热导率;

[0031] ρ 是密度;以及

[0032] c是热容量。

[0033] 因此,分析装置20确定像素加热器12的表面温度,且确定特定的加热区域是否具有比其它加热区域44更高的温度。分析装置20然后识别出具有更高温度的特定加热区域以及缺陷的位置。

[0034] 参考图4,检测对象的方法50在步骤52中开始,其中将像素加热器12可移除地附接至对象26的外表面28上。在步骤54中,多个电阻加热元件42可被激活以产生热量。取决于应用,多个电阻加热元件42可以同时地或分别地被激活。在步骤56中,一旦电阻加热元件42被

激活,则成像装置18开始记录热图像,且在预定的时间段内连续地记录像素加热器12的外表面40上的热图像。在步骤58中,热图像被发送至分析装置20,以分析像素加热器12的外表面40上的热图案或温差。分析装置20然后确定哪个加热区域44具有比其它加热区域44更高的温度,和基于热图像确定诸如缺陷或空隙24的内部结构位于何处。

[0035] 本发明的热成像检测系统由于从热源到对象26外表面28的直接热传导而具有允许更高热量传播到对象中的优点。因为电阻加热元件42被设置为靠近待检测的对象26,所以热量可以更迅速地被引导到关注的区域。因为像素加热器12通过热传导将热量传递到对象26,所以本发明的热成像检测系统10可以用在非大气环境中,诸如真空和等离子体,与闪光灯相反,对于闪光灯,在激励源和待检测对象之间的传输介质(诸如空气)会影响光的传输和从其转换的热量。

[0036] 此外,在根据本发明的热成像检测系统中,因为像素加热器12具有独立可控的多个电阻加热元件42,所以能够取决于应用在不同的依赖时间的分析或周期下对特定区域施加加热激励。引入到对象26中的热量的量可以容易地通过控制供给电阻加热元件42的功率和通电时间来控制。

[0037] 此外,根据本发明的热成像检测系统可用于检测具有复杂形状和曲率的对象,因为像素加热器12具有片状结构,并且可以容易地设置在任何对象上。像素加热器12具有相对小的占用空间,并且因此可以在空间有限的环境中使用。

[0038] 应当指出的是,本发明并不限于作为示例所描述和示出的实施例。已经描述了大量各种变型,而更多的变型是本领域技术人员所掌握知识中的一部分。这些和其它变型以及技术等效物的任何替换都可以在不脱离本发明和本专利的保护范围的前提下加入到本说明书和附图中。

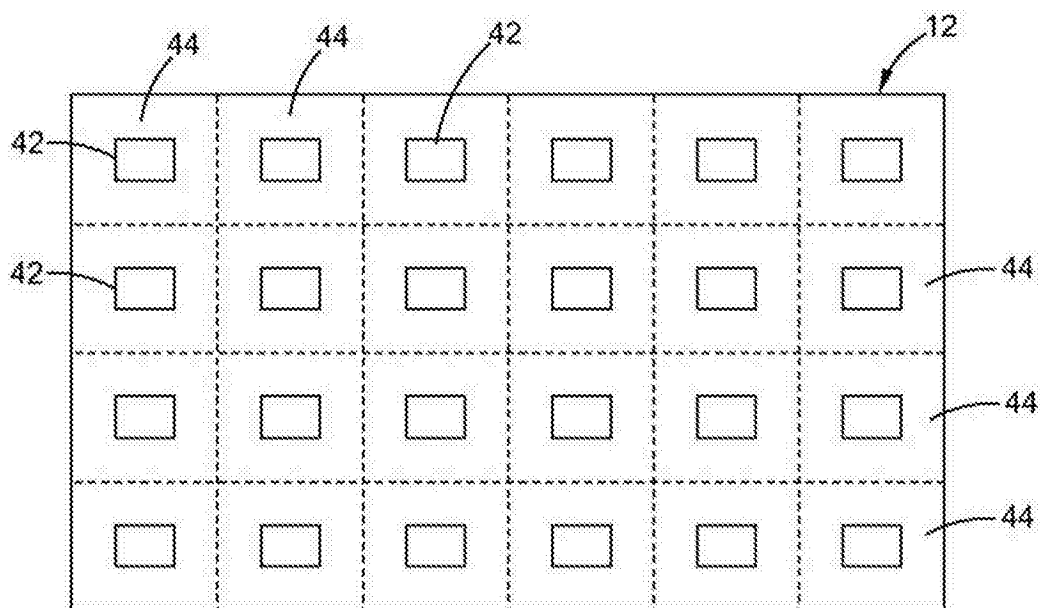


图3

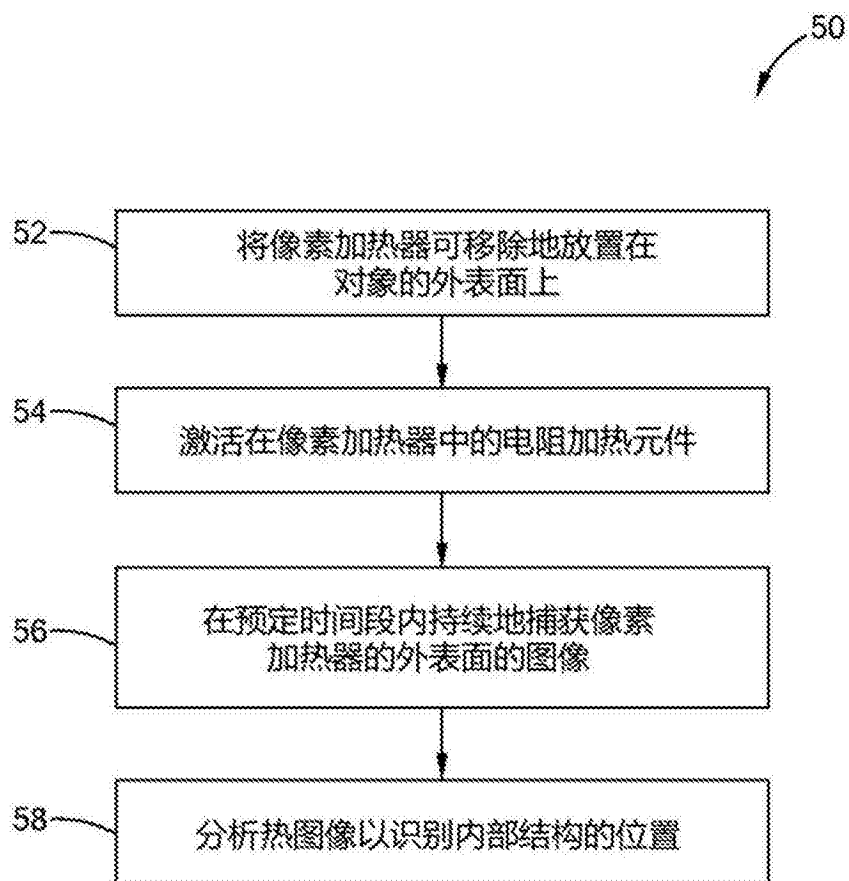


图4