

# 超声红外热成像无损评估技术

江 涛, 杨小林, 阚继广

(空军第一航空学院, 信阳 464000)

**摘 要:** 超声红外热成像技术是一种新的无损检测方法, 它是利用低频超声脉冲波作用在不同的材料或者结构上, 然后通过红外热像仪对被测件在脉冲波激励下产生的局部发热过程进行采集, 从而判别被测件中缺陷的有无及其位置。简要介绍了国外超声红外热成像无损评估在金属材料、复合材料和陶瓷材料中疲劳裂纹、分层、脱粘等损伤检测方面的应用情况。

**关键词:** 超声激励; 红外热成像; 无损评估; 缺陷检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)11-0884-03

## NDE Technique With Ultrasonic Thermography Imaging

JIANG Tao, YANG Xiao-Lin, KAN Ji-Guang

(The First Aeronautical Institute of Air Force, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** The sonic infrared (IR) imaging is a new NDE method. The using short ultrasonic pulse acting on different material or structure, and the produced local heat process under pulse wave was seized and collected by thermography imaging, and the defect and its position was distinguished in tested sample. The foreign application of sonic IR imaging NDE was presented on detecting fatigue crack, delaminations and disbonds in metal material, composites and ceramics material.

**Keywords:** Ultrasonic exciting; Thermography Imaging; NDE; Defect detection

### 1 超声红外热成像技术特点

超声红外热成像无损评估综合应用超声激励和红外热成像技术来对材料或结构的缺陷进行鉴别, 尤其对金属材料和陶瓷材料的表面及近表面裂纹, 复合材料的浅层分层或脱粘等的检测非常有效。因此利用其超声红外热成像特定的振动激励源来促使材料或结构内部产生机械振动(弹性波传播), 使其缺陷部位(裂纹或分层)因热弹效应和滞后效应等原因导致声能衰减而产生释放出热能, 最终引起材料局部温度升高。通过红外热像仪对材料局部发热过程进行捕捉和采集, 就可以借助于时序热图像对材料或结构内部的缺陷进行判别, 具体见图 1。

热效应的产生是由于声波在材料中传播时在内

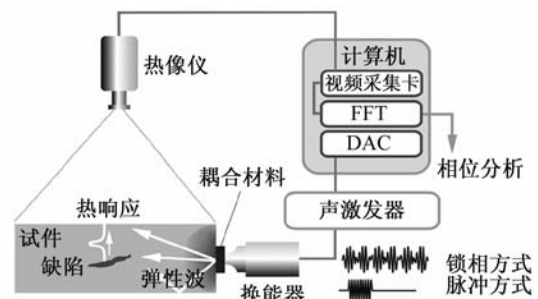


图1 超声红外热成像无损评估原理示意图

部缺陷两个异质界面上的振动不一致所造成的, 例如封闭裂纹将会由于裂纹内表面的摩擦或者其他不可逆的相互作用而成为平面热源。如果裂纹延伸方向与表面相交, 在红外热像仪上热源首先会形成一条线, 随后就会变得模糊不清而且热区域会慢慢的向外扩散。当超声脉冲激励源停止后, 目标区域的温度将会像普通热辐射过程一样逐渐降低。

除了能够对微小裂纹进行检测外, 超声红外热

收稿日期: 2008-12-10

作者简介: 江 涛(1981—), 男, 讲师, 研究方向为无损探伤, 主要从事飞机损伤检测技术研究和设备研发。

成像无损评估技术还能应用于其他类型的缺陷检测,如复合材料的内部分层或脱粘等。该技术除了对裂纹的检测速度非常快(仅需数秒)、信噪比好和灵敏度高外,对更深的内部分层或裂纹的检测方面优于其他传统技术如超声波检测和脉冲红外热成像检测等方法<sup>[1-3]</sup>。

## 2 检测试验装置

图2所示为用于检测缺陷的超声红外热成像检测试验装置,装置主要包括超声换能器和红外热像仪等。当单一的短频脉冲通过超声换能器被注入试件后,试件表面或内部裂纹处的温度变化过程将被红外热像仪所记录。激光振动计主要用于测量试件相关区域的振动行为,并为缺陷发热的相关性和超声源振动模式的产生等基本问题提供依据。

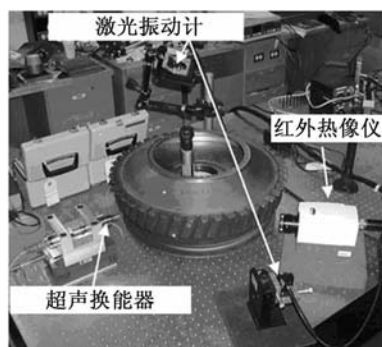


图2 超声红外热成像检测装置

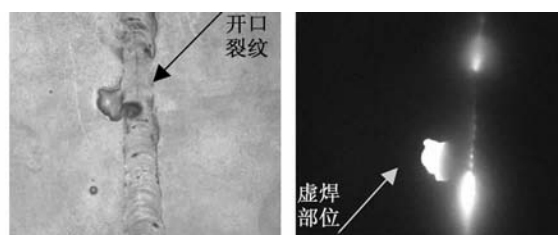
对于大多数固体,声波传到裂纹几乎是瞬时的。例如横波在钢中的传播速度约3.2 km/s,对于帧频为50 Hz的红外热像仪,在两帧的时间间隔内,声波可以传64 m。而且声波衰减也比较低。因此对于多数材料,超声换能器能够在距离激发源较远或较深的地方产生有效的激励<sup>[4]</sup>。

## 3 应用实例

采用图2中的试验装置对不同材料或结构的缺陷进行了检测。

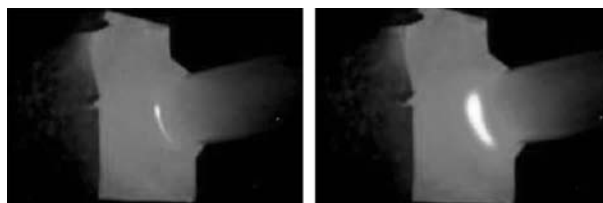
### 3.1 焊接件检测

对铜制焊接件(有缺陷)进行超声红外热成像检测的结果见图3。图3(a)为可见光下焊接件焊缝表面的图像,可看到焊缝上有明显的开口裂纹,且该裂纹还沿焊缝表面向两端延伸。图3(b)为同一部位在受到超声波激励后的红外热图。开口裂纹和延伸裂纹呈现为一条亮线和间断亮点,其中裂纹左侧的虚焊部分在热图像中也能够清楚的显现出来。图4



(a) 焊缝的开口裂纹 (b) 裂纹和虚焊部位的红外热像图

图3 铜制焊接件的焊缝形貌和红外热像图



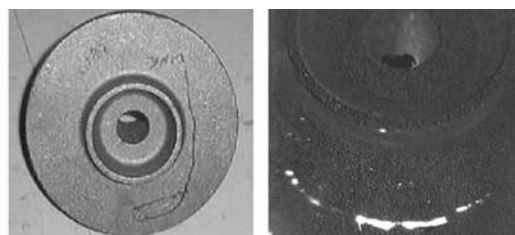
(a) 脉冲早期 (b) 超声脉冲后期

图4 汽车零部件在超声脉冲早期和后期的红外热图

(a)和(b)分别为某汽车零部件在超声脉冲激励早期和后期的红外热图,存在于焊缝处表面下的内部裂纹可以清楚的被识别出来。

### 3.2 汽车轮毂检测

图5(a)和图5(b)分别为带有裂纹的汽车轮毂的光学照片和红外热图。其中图5(a)中轮毂右侧的黑色曲线是利用磁粉检测技术所标定的缺陷位置,磁粉检测结果表明该缺陷(裂纹)的位置和形状。现在利用超声脉冲激励后所拍摄的红外热图则显示出裂纹在轮毂内部的大小及延伸方向见图5(b)。

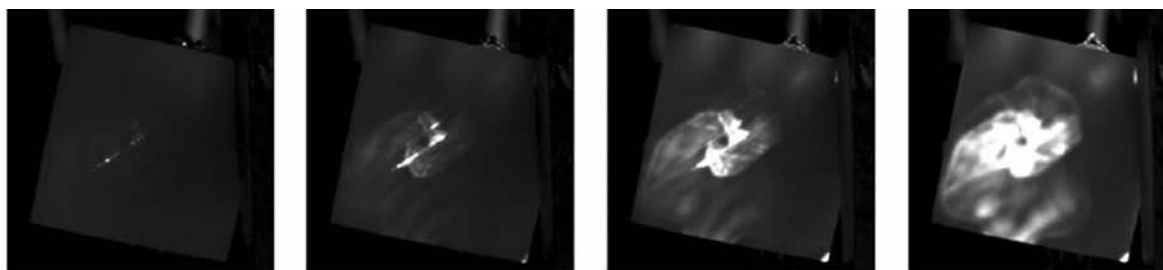


(a) 汽车轮毂的磁粉检测图 (b) 汽车轮毂的红外热图

图5 汽车轮毂的磁粉检测图和红外热图

### 3.3 环氧石墨复合材料试件冲击损伤检测

图6(a)~(d)显示的是超声红外热成像技术对环氧石墨复合材料薄板试件受冲击损伤的检测结果序列。薄板试件的冲击损伤区域由于吸收机械能,摩擦产生热量形成热源。热源的热量向试件表面辐射而且比背景温度要高,所以分层缺陷能够被发现。离试件表面越深的分层,热量传播到表面所用的时



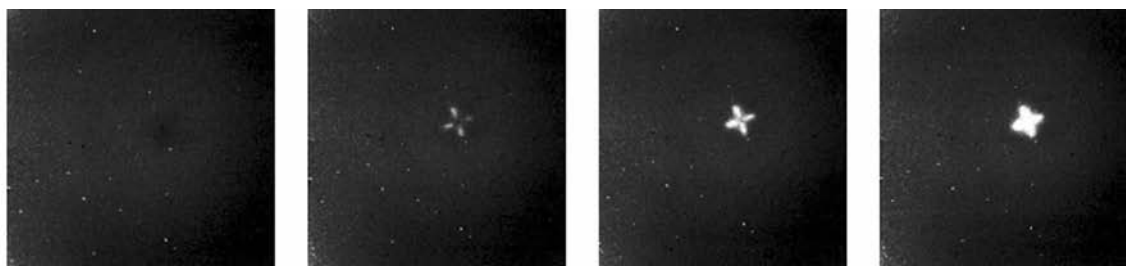
(a) 序列 1

(b) 序列 2

(c) 序列 3

(d) 序列 4

图 6 超声红外热成像对环氧石墨复合试件冲击损伤的检测图



(a) 未注入超声脉冲

(b) 注入超声脉冲前期

(c) 注入超声脉冲中期

(d) 注入超声脉冲后期

图 7  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷板上裂纹的超声红外热成像检测图

间就越长,红外热像图中分层缺陷出现就越晚。序列 1 是试件受冲击后对其施加超声脉冲进行检测的早期阶段,显示其近表面损伤的红外热像图。序列 2~4 是施加超声脉冲随后阶段,显示离试样表面更深的分层缺陷红外热像图。

### 3.4 陶瓷板检测

超声红外热成像能够应用于脆性材料进行检测,但操作时需要小心谨慎,防止损坏试件。图 7 所示为利用超声红外热成像对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷板上裂纹的检测,样品的缺陷是用维氏压头预制。图 7 分别显示超声源打开前,注入超声脉冲前期、中期和后期的红外热像图。在脉冲波的后期,由于热量在裂纹的周围向外辐射,所以图像会变的比较模糊。

对于深层缺陷或较厚材料的检测,一方面要求超声激励能量必须足够大,以确保深层缺陷产生的内部温度变化最终能够导致材料表面温差超过红外热像仪的热灵敏度,且表面温差持续时间应大于红外热像仪的响应时间,才能产生可识别的热信号<sup>[5]</sup>。另一方面,超声发射头多为金属铝或钛等,激发过程相当于锤打试件,容易导致二次损伤,尤其是对冲击载荷比较敏感的材料或构件,所以超声激励能量的选择必须合理。由于超声激励下的局部温度变化过程较快且持续时间短,红外热像仪的技术性能高才能保证不漏检。

## 4 结语

超声红外热成像检测法能够有效地检测出不同类型材料的表面和近表面裂纹、浅层分层或脱粘等缺陷。相对脉冲闪光热像法等其他红外检测方法而言,其具有适应性好、检测范围大以及检测信号易于辨别等特点。

### 参考文献:

- [1] Xun Wang. Pulse-echo Thermal Wave Imaging of Metals and Composite [D]. Detroit: Wayne State Univ, 2001.
- [2] Xiaoyan Han, Favro L D, Thomas R L. Review of progress in quantitative nondestructive evaluation[J]. Am Inst Phys, 2003, CP657: 500—504.
- [3] 杨小林, 吕伯平. 超声热成像检测应用实例[J]. 无损检测, 2007, 29(05): 275—277.
- [4] Shepard Steven M, Ahmed Tasdiq, Lhota James R. Experimental considerations in vibrothermography, thermal wave imaging[J]. Proc. SPIE Thermosense, 2004, (4): 12—16.
- [5] 杨小林, 杜来林, 冯立春. 红外热成像检测中的主动加热方法研究[J]. 激光与红外, 2007, 37(11): 1188—1191.