



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105823826 A

(43)申请公布日 2016.08.03

(21)申请号 201610137908.6

(22)申请日 2016.03.10

(71)申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号北京理工大学

(72)发明人 徐春广 蔡海潮 李培禄 肖定国
潘勤学 王俊峰 田海兵 卢宗兴

(51)Int.Cl.

G01N 29/06(2006.01)

G01L 5/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种残余应力动态分布的超声阵列层析检测和监测方法

响。

(57)摘要

本发明涉及一种残余应力分布超声阵列层析检测和监测方法,该方法使用超声阵列获取检测数据,适用于被测构件中残余应力平均分布测量,能够对被测构件内残余应力平均分布状态和区域位置进行声学图像的重建。本发明提出的超声阵列层析检测方法基于局部信号差别原理来实现。采用超声斜入射方法获得临界折射纵波,检测时采用透射法首先采集无残余应力情况下的背景数据,然后使用相同的方法采集有残余应力存在时的超声阵列数据,依据有无残余应力时局部检测信号和背景信号之间的对比,结合被测构件内残余应力分布出现概率的权重系数来重建图像。图像中的像素点表示声波所经过残余应力区域的声时差变化属性,从而区分出残余应力分布状态和位置。根据残余应力层析成像方法,分析阵列个数和布置方式对残余应力分布状态的影响以及激励频率对残余应力检测深度的影

1. 一种残余应力分布超声阵列层析检测和监测方法,其特征在于:运用声时差技术,采用超声斜入射方式构建超声应力检测阵列装置,将超声阵列布置于被测构件表面,设置发射接收换能器获得超声波数据,通过概率层析算法完成构件内残余应力分布状态的检测和监测,依据构件残余应力分布状态,分析阵列个数及布置方式对残余应力分布状态变化和激励频率对检测深度的影响。

2. 权利要求1中每一换能器对之间的残余应力值可根据声时差变化获得,超声入射采用斜入射方式,斜入射时会发生波形转换,为在被测介质表面激励出临界折射纵波,可运用Snell定律推导出有机玻璃楔块的设计角度。

3. 权利要求1中阵列布置方式及个数对残余应力状态变化的影响特征在于:考虑变化阵列布置方式对激励接收换能器获得信号声时差变化的影响,进而获得层析成像后的残余应力分布状态的变化特性。

4. 权利要求1中激励频率对检测深度的影响特征在于:在选定的入射角度下,考虑改变探头激励频率,获得超声临界折射纵波的传播深度变化特性,进而获得不同激励频率对残余应力检测深度的影响。

5. 权利要求1中所述的残余应力超声阵列可根据需要选定探头个数,为适应各种形状类型的被测构件,可在构件表面布置成方形、圆形或者六边形等(任意)形状。

6. 权利要求1中所述的设置发射接收换能器,其换能器收发设置为:采用单个换能器激发、多个换能器依次接收的方式,换能器之间的收发互不影响。

7. 权利要求1中所述的概率层析算法特征在于:首先获得构件无残余应力存在时的超声信号作为背景信号,然后测得构件内部有残余应力存在时的透射超声信号作为应力信号,结合局部信号差系数和概率权重函数实现构件残余应力分布图的重建,同时动态监测构件残余应力的动态分布和发展趋势。

8. 权利要求4中所述的局部信号差系数特征在于:截取背景信号超声直达波的时间点波形信号与应力信号中截取的波形信号作对比,依据声弹性理论的声时差特性获得局部信号差系数。

9. 权利要求4中所述的概率权重函数特征在于:概率权重函数中尺度参数依据阵列范围内残余应力分布区域大小进行相应的调整,该尺度参数为经验值,每个换能器对之间的收发组合都可以设置不同的尺度参数值。

10. 权利要求7中动态监测构件残余应力的动态分布和发展趋势的特征在于:超声阵列布置与被测构件表面,不仅可以获得残余应力的分布状态,而且可以根据构件表面和内部残余应力值的不断变化定期进行动态监测,从而掌握被测构件的安全运行状态。

一种残余应力动态分布的超声阵列层析检测和监测方法

一、技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于无损检测和监测构件局部区域内残余应力分布和动态分布的阵列检测方法,该方法依靠顺序控制超声收发声束,达到旋转声束的效果,再基于一发一收透射检测方法和信号统计特性,从而实现局部残余应力的超声层析检测,实现构件内残余应力分布状态的检测和监测。

二、背景技术

[0002] 残余应力是各类金属构件变形和裂纹的物理根源,准确无损的检测构件内残余应力分布状态是确保构件质量和安全运行的前提,残余应力分布是金属构件安全性的重要表征,直接反映了金属构件的质量和可靠性状态。制造和服役过程必然使构件产生残余应力,残余压应力能提高构件抗腐蚀、抗疲劳和止裂纹能力,而残余拉应力会加快腐蚀、催生裂纹和加速构件断裂的作用,从而降低材料强度和止裂能力,也降低了疲劳强度和寿命。

[0003] 残余应力的存在改变了金属材料晶格之间的约束力,残余压应力使得晶格间更加紧密和牢固,外界介质很难侵入,耐腐蚀能力增强,而残余拉应力松弛了晶格间紧密度,外界腐蚀介质分子容易进入晶格间隙,与金属材料化学反应,打破晶格间约束力关系,出现新的残余应力集中,腐蚀进程恶性循环,由于残余拉应力导致金属材料出现腐蚀和开裂的现象称为应力腐蚀开裂,是金属构件服役中最容易出现的、也是最严重的缺陷,因此,有效地检测出金属构件内残余应力分布具有重要意义。

[0004] 超声阵列层析技术通过在残余应力区域周围放置多个超声换能器构成不同阵列形状,从不同位置发射超声波,并在其它位置接收超声波,若在发射接收路径中存在残余应力,则接收到的信号的声时将发生变化,经过一定的算法来重建图像,可以获得结构中残余应力的分布状态和位置。

[0005] 目前,残余应力的研究主要停留在对构件某部位残余应力值得测量,而采用超声阵列层析技术获得构件内残余应力分布状态和位置是一种具有独特优势的残余应力检测方法。

[0006] 文献检索发现,关于缺陷检测的超声层析成像检测方法较多,然而国内外还没有文献针对残余应力分布的超声阵列层析检测方法进行报道。因此,采用超声阵列层析成像方法检测和监测构件残余应力分布具有独特的优势和新颖性。

三、发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种残余应力分布超声阵列层析检测方法,实现金属构件内残余应力动态分布状态和位置的检测和监测。

[0008] 要实现构件残余应力分布的检测目的,本发明提出的超声阵列层析检测方法包括硬件部分和检测算法两部分。硬件部分包括超声换能器阵列(如附图1所示)、控制器、多通道脉冲收发装置和数据采集装置(连接方式如附图2所示),检测算法基于信号概率统计原理实现。

[0009] 硬件部分中控制器负责控制多通道脉冲收发设备发射超声波和采集相应通道的回波数据。超声换能器阵列由多个纵波超声换能器加声楔块构成用来在被测构件内激励出临界折射纵波。该超声换能器阵列可以依据被测构件形状布置任意形状阵列,通过各个通道收发超声波完成数据采集。多通道脉冲收发装置是一个拥有与超声换能器阵列阵元数相当的超声脉冲信号收发装置,每一个通道都能独立完成发射脉冲信号和接收脉冲信号的功能。数据采集装置能够对多通道脉冲收发装置收到的波形信号分通道进行存储。检测算法则可以对获取的透射波形信号的声时差别经过概率算法完成残余应力分布状态和位置的检测。

[0010] 检测算法的原理在于将超声换能器阵列以圆形阵列形式布置于被测构件,首先在无应力状态下由多通道脉冲收发装置控制阵列中的一个超声波换能器发射超声波,在发射换能器对侧的换能器接收超声波,附图1所示为16个阵元组成的超声阵列布置于构件表面,接收声波的同时,数据采集装置将收到的信号按照对应通道序号存储。这个过程依次顺序进行 $16 \times 16 = 416$ 次,直到所有换能器都发射过超声波为止。完成后会获得多组背景信号。

[0011] 然后在有残余应力状态下,使用超声阵列检测装置实施与获得背景信号相同的操作,依次遍历阵列中的换能器发射和接收超声波。这时候采集到的信号称为应力信号。

[0012] 由收发换能器对之间一一对应的背景信号和应力信号作为计算对象,通过概率重构算法获得残余应力分布图像。

[0013] 概率重建的过程有两部分组成:信号对比和图像重建。信号对比过程是找到有应力存在时的信号(称应力信号)和用于对比的无应力背景信号,再截取其中和检测路径声时对应的局部信号,两者做统计比值。图像重建过程是根据被测物存在的概率反涂抹重建矩阵中的像素值。

[0014] 信号对比的过程第一步需要得局部信号差系数:

$$[0015] \quad LSDC = 1 - \frac{\sum_{k=N_1}^{N_2} [X_{ij}^{xy}(t_k) - \bar{X}] \cdot [Y_{ij}^{xy}(t_k) - \bar{Y}]}{\sqrt{\sum_{k=N_1}^{N_2} [X_{ij}^{xy}(t_k) - \bar{X}]^2 \cdot \sum_{k=N_1}^{N_2} [Y_{ij}^{xy}(t_k) - \bar{Y}]^2}} \quad (1)$$

[0016] 其中:

$$[0017] \quad X_{ij}^{xy}(t_k) = X_{ij}(t_k + t_{ij}^{xy})w(t) \quad (2)$$

$$[0018] \quad Y_{ij}^{xy}(t_k) = Y_{ij}(t_k + t_{ij}^{xy})w(t) \quad (3)$$

[0019] 分别是局部截取后的应力信号和背景信号, \bar{X} 和 \bar{Y} 分别是局部应力信号和局部背景信号的平均值,k的值从 N_1 到 N_2 表示离散后的信号采样点,w(t)表示窗函数,而 t_{ij}^{xy} 是一个时移:

$$[0020] \quad t_{ij}^{xy} = t_{ij}(x, y) = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{c_B} \quad (4)$$

[0021] 上式中 c_B 是残余应力区域的声速。波形时间轴上的窗函数宽度和特定的时移相当。 (x, y) 、 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 分别是某重建像素点坐标,发射换能器坐标和接收换能器坐标,具体见附图3。设定椭圆虚线内的部分为一次超声收发的概率重建范围,每一个像素点

在检测范围内的相对距离可以用 $Q_{ij}(x, y)$ 表示为:

$$[0022] \quad Q_{ij}(x, y) = \begin{cases} Q_c(x, y, x_i, y_i, x_j, y_j), & \beta > Q_{ij}(x, y) \\ \beta, & \beta \leq Q_{ij}(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

[0023] 其中

$$[0024] \quad Q_c(x, y, x_i, y_i, x_j, y_j) = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{\sqrt{(x_i-x_j)^2 + (y_i-y_j)^2}} = \frac{l_1 + l_2}{l} \quad (6)$$

[0025] 表示椭圆虚线内部的计算值,这里的 $\frac{l_1 + l_2}{l}$ 表示相对距离,于是由 $Q_{ij}(x, y)$ 作为自变量的权重函数可以表示为:

$$[0026] \quad S_{ij}(x, y) = \begin{cases} \frac{\beta - Q_{ij}(x, y)}{1 - \beta}, & \beta > Q_{ij}(x, y) \\ 0, & \beta \leq Q_{ij}(x, y) \end{cases} \quad (7)$$

[0027] 式中 β 是一个尺度参数,控制着椭圆检测区域的大小,不同换能器对可以有不同的 β 值来调整相应声传播路径上残余应力存在的概率作用范围,这里 β 值是一个经验值,依据实际检测中残余应力分布区域大小进行确定。

[0028] 上述概率算法中用到的所有参变量都能得到之后,由信号差系数和权重函数便可得出重建图像的像素值:

$$[0029] \quad PROB(x, y) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N PROB_{ij}(x, y) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N LSDC_{ij}(x, y) \cdot S_{ij}(x, y) \quad (8)$$

[0030] 式中的 $PROB_{ij}(x, y)$ 表示每一个收发换能器对在重建矩阵中的概率像素贡献,而最后的重建结果就是所有换能器对的概率重建叠加。

[0031] 本发明提出的残余应力超声阵列层析检测方法,很好地满足了构件中残余应力分布的检测需求,具有重要的现实意义。

四、附图说明

[0032] 图1超声换能器阵列和概率检测透射波路径示意图

[0033] 图2残余应力分布超声阵列检测装置系统框图

[0034] 图3概率检测算法单次收发换能器对的反涂抹范围示意图

五、具体实施方式

[0035] 本发明的具体实施步骤说明如下:

[0036] 1)使多通道脉冲收发装置的一个通道发射脉冲,激发换能器阵列中的一个阵元发射超声波,此后所有的阵元接收超声波。

[0037] 2)数据采集装置自动存储在发射换能器对侧的透射超声波信号,从而完成一次收发过程。

[0038] 3)要在被测构件内激励出临界折射纵波,阵列中的每个换能器采用斜入射方式,将超声纵波入射并在构件表面发生波形转换,超声信号由压电换能器激励,在有机玻璃与被测构件界面上,发生波形转换,根据Sne11定律,

$$[0039] \quad \frac{\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\sin\theta_l}{V_l} = \frac{\sin\theta_s}{V_s}$$

[0040] 式中 V_1, V_l, V_s 分别为有机玻璃楔块中的超声纵波声速,被测构件中的超声纵波声速,被测构件中的超声横波声速。 $\theta_1, \theta_l, \theta_s$ 分别为有机玻璃楔块中的超声纵波入射角度,被测构件中的超声纵波折射角度和超声横波折射角度。

[0041] 当激励临界折射纵波时 $\theta_1=90^\circ$,则 $\theta_l = \arcsin \frac{V_l}{V_1}$,要在被测构件中激励出临界折射纵波,有机玻璃楔块中超声纵波入射角为: $\theta_1 = \arcsin \frac{V_l}{V_1}$ 。

[0042] 4)在无残余应力的情况下对阵列中的每一个阵元重复上述收发过程,将得到多组背景信号数据,然后在有残余应力存在时也重复收发过程。

[0043] 5)将遍历得到的应力信号分别与对应收发换能器测得的背景信号作比较,通过声时差判断相应检测路径中残余应力出现的概率,完成重建残余应力区域的图像。

[0044] 6)阵列个数和布置方式对残余应力分布会有影响,采用不同的阵列个数运用超声层析方法进行残余应力分布状态检测,由于探头个数和布置方式不同,接收换能器获得数据量不同,在层析成像时对残余应力分布状态的影响不同,通过改变不同的个数和布置方式找到最佳的残余应力分布状态。

[0045] 7)激励频率对检测深度的影响,由于频率越低,超声衰减越小,在构件内传播的深度也越深,分别采用不同的激励频率,以获得超声不同的渗透深度,运用层析检测方法获得残余应力的分布状态,掌握激励频率对检测深度的影响。

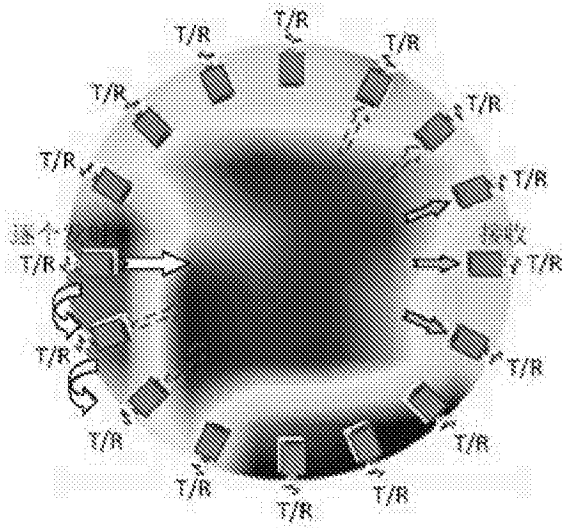


图1

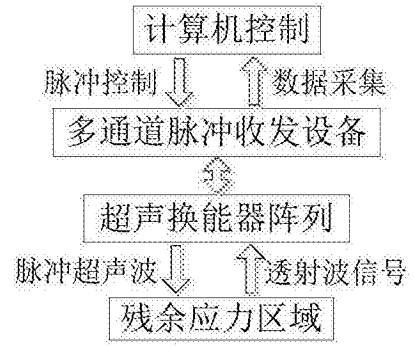


图2

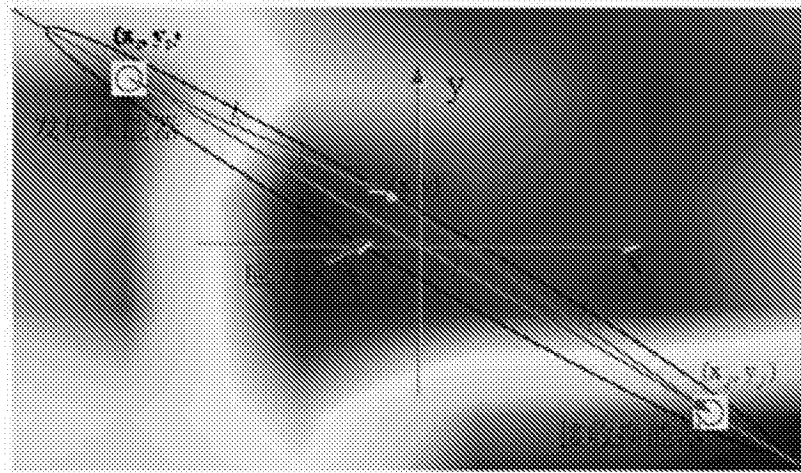


图3