



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105424243 B

(45)授权公告日 2019.06.18

(21)申请号 201610009044.X

(22)申请日 2016.01.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105424243 A

(43)申请公布日 2016.03.23

(73)专利权人 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 王俊峰 李焕新 白晓光
田海兵 宋剑锋 吕卓 肖定国
潘勤学

(74)专利代理机构 北京华夏正合知识产权代理
事务所(普通合伙) 11017
代理人 韩登营

(51)Int.Cl.

G01L 1/25(2006.01)

(56)对比文件

徐春广等.残余应力的超声检测方法.《无损检测》.2014,第36卷(第7期),

审查员 张超然

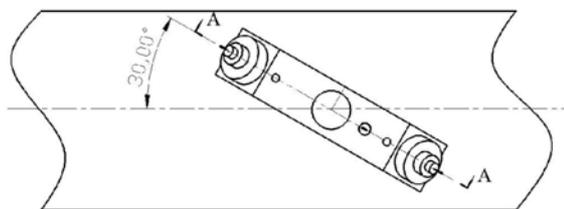
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

一种扭转残余应力超声无损检测方法

(57)摘要

本发明涉及一种扭转残余应力超声无损检测方法,超声纵波通过一次波形转换在轴的扭转面上形成临界折射纵波,测出临界折射纵波在轴中传播的时间,由声弹性理论便可计算出相应的扭转残余应力。而且通过改变超声纵波的频率还可以测出同一扭转面上不同深度下的扭转残余应力。该技术发明可以有效地解决不同角度扭转面上扭转残余应力大小分布问题,找到主应力方向,还可进行疲劳强度的分析,非常适合在生产现场、维修维护现场广泛使用,是一种超声波检测残余应力分布的新方法,具有非常光明的应用前景。



1. 一种扭转残余应力超声无损检测方法,其特征在于:应用于轴类、圆筒类传动构件的检测,

针对被测工件的不同直径不同角度扭转面设计不同声束角度的声楔块,

将某一频率的纵波超声换能器安装在声楔块的两端,其中一个超声换能器用来激发超声纵波,另一个用来接收超声纵波,

超声换能器探头发射的纵波经过第一临界角入射而产生临界折射纵波并能够沿着弧形曲面进行传播,接收探头在临界折射纵波传播的扩散角范围内,并以与入射角相同的接收角度来接收临界折射纵波,

通过发射与接受超声波的时间差得出被测工件在扭转方向上临界折射纵波传播的时间,根据声弹性理论计算出扭转残余应力;

其中检测扭转残余应力的超声纵波临界入射角是指超声纵波声束与圆弧曲面交点处的法线的夹角,符合snell定律,这个夹角的最小值要大于第一临界折射角而小于第二临界角;

由于不同材料声速不同,不同材料具有不同的临界入射角度和接收角度;

所述扭转残余应力是指传动构件在加工过程中残留在工件内部的某一方向的残余应力和在服役过程中受交变应力而产生的某一方向的残余应力;

超声临界折射纵波传播速度受到被检测构件和声楔块温度的影响,为了补偿与标定温度的差异而带来的速度差对残余应力的检测误差,在声楔块内放置温度传感器,以实时获得检测环境、声楔块和被检测构件的温度变化;

所述扭转方向包括30°、45°、60°和90°的任一角度;

通过调节换能器的频率改变超声波频率,检测轴扭转面上不同深度的扭转残余应力的大小与分布;

通过比较不同扭转方向的残余应力发现主应力的方向,对其强度的有效性做出判断;

通过扭转残余应力换能器获得动态扭转残余应力的变化规律,对扭转过程中的旋转类构件进行疲劳强度分析;

还包括对传动构件强度的校核,包括:

传动构件沿30度方向的扭转残余应力,检测3~4次,取平均值作为该方向上的扭转残余应力值;

传动构件在加工或静载时,将测得的扭转残余应力值 σ 与该传动构件的许用应力值 $[\sigma]$ 进行比较,当 $\sigma \geq [\sigma]$,该传动构件不满足强度要求;当 $\sigma \leq [\sigma]$,还考虑传动构件在服役过程中,受交变载荷时传动构件的强度,即 $\sigma + \sigma_{\perp} \leq [\sigma]$ 时,该传动构件满足强度要求;

其中, σ_{\perp} 是传动构件工作过程中受最大载荷时该方向上的工作应力, $\sigma_{\perp} = \frac{T}{W_t} \sin 2\alpha$, α 是扭转方向与传动构件的轴向上的夹角,T是该传动构件扭转时所受到的扭矩;对于实心轴 $W_t = \frac{\pi D^3}{16}$,式中D是圆截面直径;空心轴 $W_t = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$,式中D和d分别是圆截面的外径和内径。

一种扭转残余应力超声无损检测方法

一、技术领域

[0001] 本发明涉及一种扭转残余应力的超声无损检测方法,该方法利用超声临界折射纵波来检测轴类构件在扭转过程中在不同方向产生的残余应力。

二、背景技术

[0002] 扭转残余应力存在于圆筒类构件、轴类构件等传动构件中,对传动强度有重要影响。传动构件在服役过程中承受大应力随机扭转载荷,多由于裂纹、表面划痕和内部缺陷导致的断裂,这种疲劳断裂是极其常见的、严重的失效形式。扭转断裂属于低应力扭转疲劳断裂,通过断口宏观、微观和根据测定的硬度分布曲线分析,造成的原因一般是由于在服役过程中,长期冲击与振动,一直承受交变应力的作用,在正应力和剪应力复合作用下裂纹迅速逐渐扩展而断裂。

[0003] 现有的残余应力检测方法主要是小孔法、X射线衍射法、电磁法、中子衍射法和超声无损检测方法,其中小孔法对零件表面有破坏作用,只能用于抽检,不能批量检查,而且不能检测服役中的构件;X射线对人体有伤害且其渗透深度小、中子衍射法对人体的伤害也很严重,不仅要求特殊保护环境,而且检测设备复杂,无法用于传动构件的检测;电磁方法目前还不能定量检测残余应力,而且受到被检测部件剩磁程度的影响。

[0004] 超声无损检测方法因其使用灵活方便、适合现场使用、对人体无害、可以量化检测残余应力,因此,受到广泛关注。本发明采用超声临界折射纵波来检测传动构件的扭转残余应力,可以无损的对传动构件的扭转残余应力进行检测,对于构件的质量检测、疲劳寿命评估、生产质量检验等都具有非常重要的理论和现实意义。

[0005] 在知网上检索1997~2015年间专利与服务系统和相关公开文献,目前还没有发现类似的检测传动构件扭转残余应力的公开的论文、发明专利或专有技术。

三、发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种扭转残余应力的超声无损检测方法,解决了传动构件的扭转残余应力的快速无损检测问题,而且方法具有可重复性。

[0007] 本发明是依据Sne11定律在轴表面激发临界折射纵波来检测扭转残余应力的。针对工件的直径和材料设计成不同声束角度的声楔块,同时声楔块可根据要检测的方向,设计成与轴向成不同角度的扭转楔块,在声楔块的两端安装某一频率的超声换能器,通过两个超声换能器激发与接收超声波的时间差得出轴的临界折射纵波传播的时间,由声弹性理论得出轴所测方向的扭转残余应力。通过改变超声波频率,可以检测出工件扭转曲面上不同深度的平均扭转残余应力。

四、附图说明

[0008] 图1是扭转残余应力检测原理示意图主视图;

[0009] 图2是扭转残余应力检测原理示意图俯视图;

[0010] 图3是扭转残余应力检测原理示意图剖面图；

五、具体实施方式

[0011] 下面对本发明的具体实施方式进行详细说明：

[0012] 扭转残余应力是指轴类、圆筒类等传动构件在加工、服役过程中残留在内部的应力，对传动构件的寿命、安全性有重要影响。这里以传动轴为例，检测其30°扭转方向的扭转残余应力。

[0013] 1. 轴扭转残余应力检测原理

[0014] 由声弹性理论可知：超声波在各向同性弹性介质中传播时，当波动质点的偏振方向与残余应力方向一致或相反时，超声波波速改变量与残余应力变化量成线性关系。因此，可以利用超声临界折射纵波检测轴的扭转残余应力。

$$[0015] \quad \sigma = -\frac{2s}{kV_0 t_0^2} \cdot (t - t_0)$$

[0016] 其中， σ 是需检测的扭转残余应力值； V_0 是零应力状态下材料中纵波的传播速度，单位：m/s； k 为声弹性系数； s 是被测轴扭转曲面上临界折射纵波传播的弧长(m)； t 是检测构件激励和接收超声波信号所用时间； t_0 是零应力试样激励和接收超声波信号所用的时间。

[0017] 通过对轴进行零应力标定，确定 k 和 t_0 ，然后根据图1、图2、图3所示的安装方法，利用超声检测系统计算出声时 t ，便可以根据上述公式算出扭转残余应力的值。在检测的过程中，实时的进行温度补偿，消除温度变化对应力检测带来的影响。

[0018] 2. 对轴不同深度的扭转残余应力的检测

[0019] 根据声弹性理论，临界折射纵波在轴扭转面内的渗透深度是超声激发频率的函数，频率越低渗透深度越深，一般为1个波长左右。

[0020] 所以可以通过改变超声波频率来检测不同深度下轴的扭转残余应力值。

[0021] 3. 临界折射纵波的曲面声场

[0022] 在换能器轴线附近，超声波声压最高。当超声波的入射角(换能器轴线与曲面法线方向的夹角)大于等于第一临界角 θ_{cr} 小于第二临界角时，入射纵波在界面处发生波形转换，在工件表面产生临界折射纵波。临界折射纵波沿着轴的扭转曲面在一定深度内传播，声波传播时，质点由近及远的一层接一层的振动传递，从而能量也逐层传播出去，接收换能器以与发射换能器相同的角度接收到回波。

[0023] 4. 数据处理与分析

[0024] 测传动轴沿30度方向的扭转应力，一般检测3~4次，取平均值作为该方向上的扭转残余应力值。对传动轴强度的校核需按如下情况进行：

[0025] 1>传动轴在加工或静载时，将测得的扭转应力值与该轴的许用应力值进行比较。当 $\sigma \geq [\sigma]$ ，该轴不满足强度要求，存在安全隐患，应及时更换或在加工工艺上改进；

[0026] 2>当在加工和静载时， $\sigma \leq [\sigma]$ ，还需要考虑轴在服役过程中，受交变载荷时轴的强度，即 $\sigma + \sigma_{\perp} \leq [\sigma]$ 。

[0027] 其中， σ_{\perp} 是轴工作过程中受最大载荷时该方向上的工作应力， $\sigma_{\perp} = \frac{T}{W_t} \sin 2\alpha$ ， α 是

扭转方向与轴向的夹角,此处 $\alpha=30^\circ$;对于实心轴 $W_t=\frac{\pi D^3}{16}$,式中D是圆截面直径;空心轴(圆筒) $W_t=\frac{\pi}{32}(D^4-d^4)$,式中D和d分别是圆截面的外径和内径。

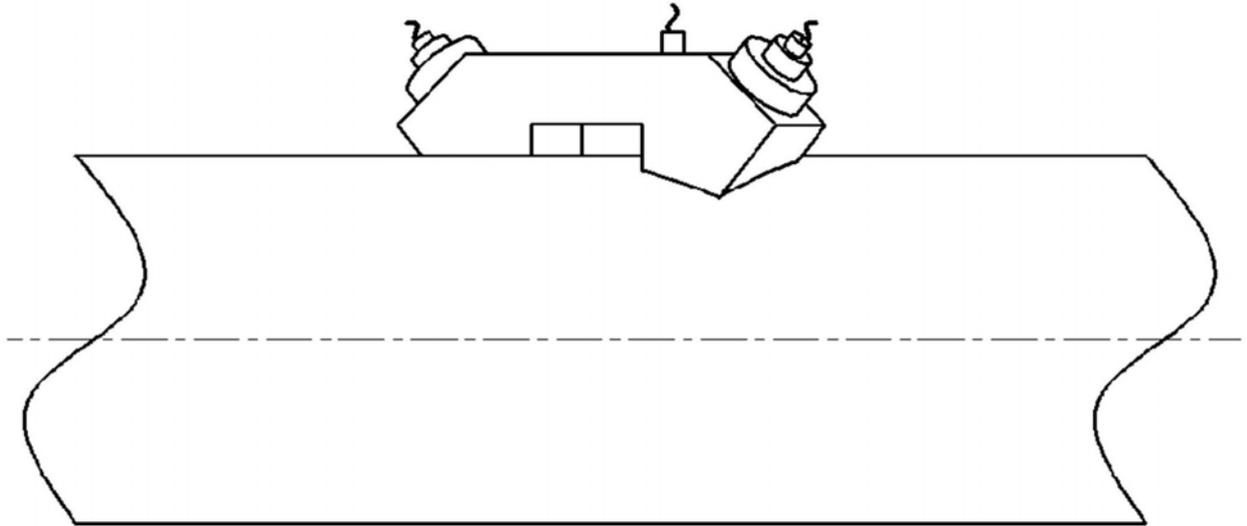


图1

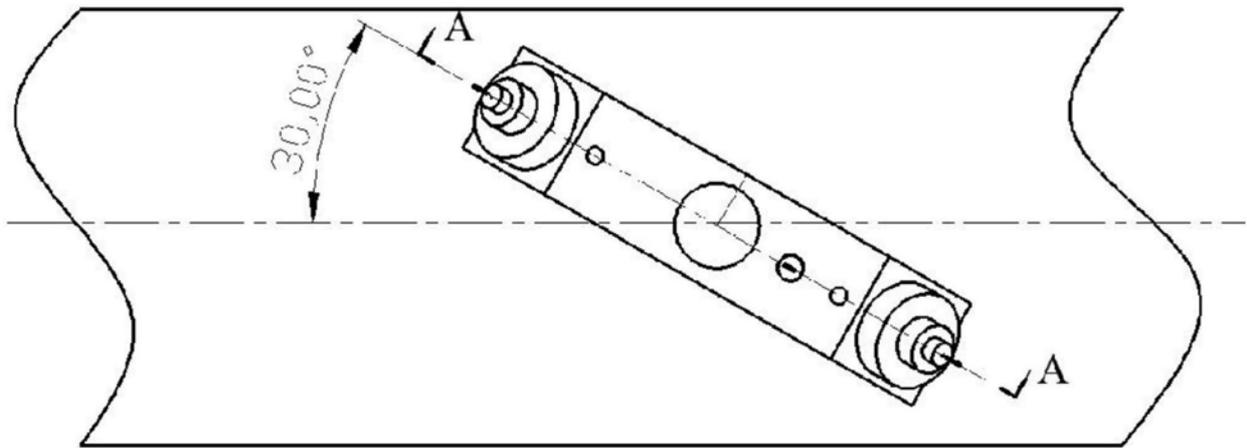


图2

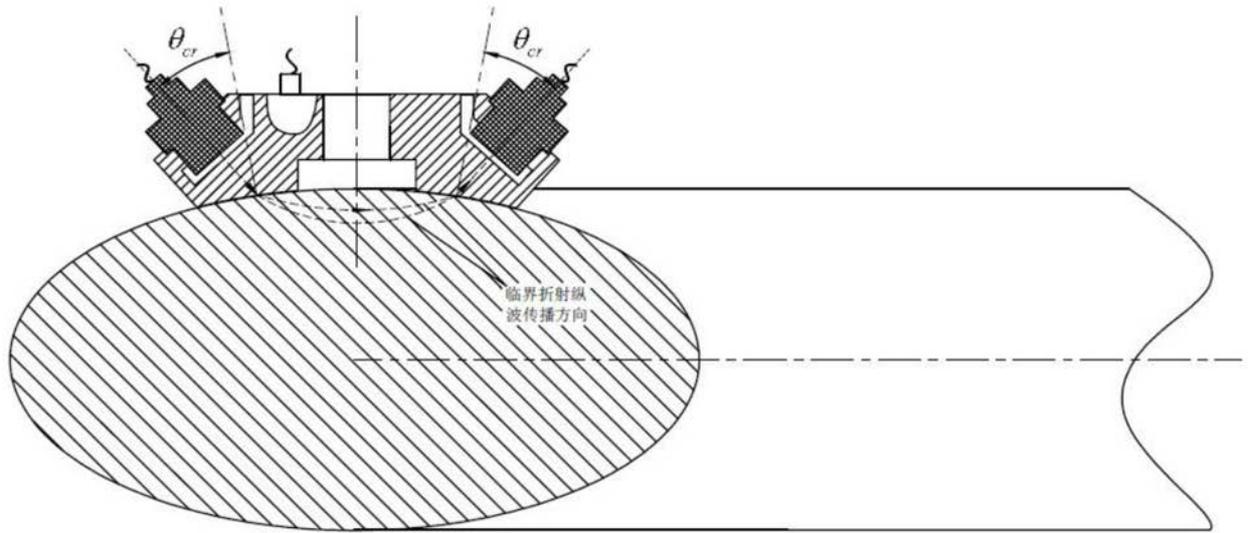


图3