



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116295984 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202310248059.1

(22) 申请日 2023.03.15

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 黄先富 刘战伟 袁泉子 赵亚溥

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01L 1/24 (2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,包括:沿被测平面钢化玻璃厚度方向的法线方向进行光学干涉实验以形成载波干涉条纹,绕旋转点缓慢转动被测平面钢化玻璃,使载波干涉条纹发生相移,得到干涉条纹的相位整体移动一个周期和两个周期时被测平面钢化玻璃对应的旋转角度;结合被测平面钢化玻璃旋转角度产生的光程差,得到有关光程差的表达式:通过上述表达式,能够计算得到被测平面钢化玻璃在所述旋转点处的内应力常数a和b,从而得到被测平面钢化玻璃中在旋转点处沿厚度方向的内应力分布。本发明通过无损和非接触方式,能够检测被测平面钢化玻璃的内应力分布,解决了现有技术中钢化玻璃检测的操作复杂、测量范围受限的问题。

1) 沿被测平面钢化玻璃厚度方向的法线方向进行光学干涉实验以形成载波干涉条纹,绕旋转点缓慢转动所述被测平面钢化玻璃,使载波干涉条纹发生相移,得到干涉条纹移动一个周期和两个周期时所述被测平面钢化玻璃对应的旋转角度 α 和 β ;

2) 根据所述旋转角度 α 和 β 分别对应的载波干涉条纹发生的周期的相移,结合所述被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差,得到有关光程差组的表达式;

3) 通过所述光程差组的表达式,能够计算得到所述被测平面钢化玻璃在所述旋转点处的内应力常数a和b,从而得到所述被测平面钢化玻璃中沿厚度方向在所述旋转点处的内应力分布。

1. 一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,其特征在于,所述方法包括:

1) 沿被测平面钢化玻璃厚度方向的法线方向进行光学干涉实验以形成载波干涉条纹,绕旋转点缓慢转动所述被测平面钢化玻璃,使载波干涉条纹发生相移,得到干涉条纹移动一个周期和两个周期时所述被测平面钢化玻璃对应的旋转角度 α 和 β ;

2) 根据所述旋转角度 α 和 β 分别对应的载波干涉条纹发生的周期的相移,结合所述被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差,得到有关光程差组的表达式:

$$\begin{cases} 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = \lambda \\ 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = 2\lambda \end{cases}$$

式中 x 为被测平面钢化玻璃的厚度方向坐标,坐标原点位于被测平面钢化玻璃的厚度中心, t 为被测平面钢化玻璃的厚度, c 为光应力常数, λ 为激光波长;

3) 通过所述光程差组的表达式,能够计算得到所述被测平面钢化玻璃在所述旋转点处的内应力常数 a 和 b ,从而得到所述被测平面钢化玻璃中沿厚度方向在所述旋转点处的内应力分布:

$$\sigma(x) = -ax^2 + b; x \in [-t/2, t/2].$$

式中, σ 为内应力。

2. 根据权利要求1所述的一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,其特征在于,沿厚度方向移动所述被测平面钢化玻璃能够改变所述旋转点的位置,能够得到所述被测平面钢化玻璃在其他点处的内应力常数 a 和 b ,及对应的内应力分布;

通过得到所述待测平面钢化玻璃上多点处的内应力分布,能够重构出所述待测平面钢化玻璃的全场内应力分布。

3. 根据权利要求1或2所述的一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,其特征在于,

所述方法还包括获得所述光程差组的方法:

光线垂直透射穿过所述待测平面钢化玻璃的光程为:

$$s_{\sigma}^{\perp} = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} n dx = \frac{act^3}{12} - bct$$

当平面钢化玻璃旋转角度 α ,则光线由垂直入射变为以 α 角入射,此时光线穿过所述待测平面钢化玻璃的光程表达式简化为:

$$s_{\sigma}^{\alpha} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx$$

则由于所述待测平面钢化玻璃旋转角度 α 产生的光程差为:

$$\Delta_{\sigma}^{\alpha} = s_{\sigma}^{\alpha} - s_{\sigma}^{\perp} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{12} + bct$$

由于玻璃旋转角度 β 产生的光程差为:

$$\Delta_{\sigma}^{\beta} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{12} + bct$$

式中, n 为平面钢化玻璃的折射率;

旋转角度 α 使载波干涉条纹发生一个周期的相移, 旋转角度 β 使干涉条纹发生两个周期的相移, 结合所述被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差, 得到有关光程差组的表达式。

4. 根据权利要求3所述的一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 其特征在于, 所述载波干涉条纹通过迈克尔逊干涉系统或云纹干涉光路系统产生。

5. 根据权利要求4所述的一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 其特征在于, 采用所述迈克尔逊干涉系统生成所述载波干涉条纹的过程包括:

1) 略倾斜参考面平面反射镜(6), 使CCD相机(7)中产生一个载波干涉条纹图;

2) 将所述被测平面钢化玻璃(8)置于被测面平面反射镜(4)和半反半透镜(5)之间, 将其厚度方向调整至与所述被测面平面反射镜(4)的法线方向一致;

3) 缓慢转动旋转台使得所述被测平面钢化玻璃(8)旋转, 使载波干涉条纹图发生相移(ϕ), 当载波干涉条纹移动一个周期和两个周期时, 记录载波干涉条纹图及所述被测平面钢化玻璃(8)对应的旋转角度 α 和 β 。

6. 根据权利要求4所述的一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 其特征在于, 当所述被测平面钢化玻璃的面积 $\leq 10 \times 10 \text{cm}^2$ 时, 选用所述云纹干涉光路系统生成所述载波干涉条纹。

7. 根据权利要求4-6任一项所述的一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 其特征在于,

所述平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 能够应用于透光材料的内应力测量中, 包括薄膜、塑料和力学光弹材料。

一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于钢化玻璃的检测领域,具体涉及一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法。

背景技术

[0002] 钢化玻璃是将普通浮法玻璃加热到近软化点后,再经过淬火工艺制得。与普通玻璃相比,钢化玻璃的抗弯、抗冲击强度增加了数倍甚至十几倍,在安全性和热稳定性等方面表现出非常优异的性能。同时,钢化玻璃制品又兼具美观、良好的光学特性,工艺简单、便于加工、生产成本低,因此被广泛应用于建筑业、航空航天、国防军工、电子显示等重要领域。

[0003] 钢化处理后,钢化玻璃表面形成压应力层,而内部则形成张应力层,方向平行于玻璃表面。国家标准GB 15763.2—2005规定,钢化玻璃的表面应力不应小于90MPa。在钢化处理过程中,由于加热或冷却不均匀,将造成玻璃面上产生不同的应力分布。此外,玻璃中微小硫化镍结石等微缺陷也将造成钢化玻璃内应力分布不均或在厚度方向发生偏移,这些影响都将导致钢化玻璃性能不稳定,在激冷/热时产生“风爆”。如果张应力区偏移到玻璃的某一边,则钢化玻璃形成自爆。因此,钢化玻璃的应力检测不仅有利于稳定产品的生产及质量,也是消除其在服役中安全隐患的必然要求。

[0004] 目前,玻璃行业比较成熟的应力测量方法可以归纳为微分表面折射法(differential surface refractometry,DSR)和表面掠角偏光法(grazing angle surface polarimetry,GASP)两大类。微分表面折射法的原理是:当一定入射角的光线到达玻璃与棱镜的交界面时,由于双折射率的不同,光束会分成以两个不同临界角反射返回棱镜的两路光束,通过用测微目镜测定两光束之间的距离并依据公式算出应力值。这类方法在使用过程中,存在零点易飘移、不易调校、操作不便等问题,导致测量精度不高、使用不便,而且只能用于测定高应力玻璃。

[0005] 相较而言,表面掠角偏光法使用更为广泛,如国家标准GB/T 18144—2008推荐的表面应力仪检测玻璃应力的方法即属于该类方法的一种。美国专利(US 20140092377 A1)公开了其原理是利用浮法玻璃表面锡扩散层的光波导效应来进行测量:当一束偏振光成一定角度倾斜入射玻璃表面薄层,平行玻璃表面运行一段距离后离开玻璃,由于玻璃表面压应力作用,光束产生双折射现象,其光程差可借助石英楔测出,得到沿层厚方向的两个主应力差,通过改变入射角度,建立方程组,并求解出应力沿玻璃层厚的分布。由于玻璃的反射性或透射性非常好,其沿厚度方向的散射光光强较弱,很难捕捉到,因此这类方法的测量范围有限。

[0006] 除了这两大类方法外,还有学者采用干涉透镜组—偏振相机—CCD相机的方法(中国专利公开号CN 108051443 A)、采用类似光弹原理的方法进行透明材料的应力检测(中国专利公开号CN103499405A、CN103543129A、CN 111076855A),但是其缺点是易受玻璃缺陷的干扰。此外,还有学者采用磁光调制法(李春艳等,光学精密工程,2014,22:58-62)进行玻璃的内应力测量,但这些方法存在光路复杂、效率低、不利于现场应用等缺陷。

发明内容

[0007] 本发明提供了一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,以解决现有技术中钢化玻璃检测的操作复杂、测量范围受限的问题。

[0008] 本发明公开了一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,所述方法包括:

[0009] 1) 沿被测平面钢化玻璃厚度方向的法线方向进行光学干涉实验以形成载波干涉条纹,绕旋转点缓慢转动所述被测平面钢化玻璃,使载波干涉条纹发生相移,得到干涉条纹移动一个周期和两个周期时所述被测平面钢化玻璃对应的旋转角度 α 和 β ;

[0010] 2) 根据所述旋转角度 α 和 β 分别对应的载波干涉条纹发生的周期的相移,结合所述被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差,得到有关光程差组的表达式:

$$[0011] \quad \begin{cases} 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = \lambda \\ 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = 2\lambda \end{cases}$$

[0012] 式中 x 为被测平面钢化玻璃的厚度方向坐标,坐标原点位于被测平面钢化玻璃的厚度中心, t 为被测平面钢化玻璃的厚度, c 为光应力常数, λ 为激光波长;

[0013] 3) 通过所述光程差组的表达式,能够计算得到所述被测平面钢化玻璃在所述旋转点处的内应力常数 a 和 b ,从而得到所述被测平面钢化玻璃中沿厚度方向在所述旋转点处的内应力分布:

$$[0014] \quad \sigma(x) = -ax^2 + b; x \in [-t/2, t/2].$$

[0015] 式中, σ 为内应力。

[0016] 进一步地,沿厚度方向移动所述被测平面钢化玻璃能够改变所述旋转点的位置,能够得到所述被测平面钢化玻璃在其他点处的内应力常数 a 和 b ,及对应的内应力分布;

[0017] 通过得到所述待测平面钢化玻璃上多点处的内应力分布,能够重构出所述待测平面钢化玻璃的全场内应力分布。

[0018] 进一步地,所述方法还包括获得所述光程差组的方法:

[0019] 光线垂直透射穿过所述待测平面钢化玻璃的光程为:

$$[0020] \quad s_{\sigma}^{\perp} = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} n dx = \frac{act^3}{12} - bct$$

[0021] 当平面钢化玻璃旋转角度 α ,则光线由垂直入射变为以 α 角入射,此时光线穿过所述待测平面钢化玻璃的光程表达式简化为:

$$[0022] \quad s_{\sigma}^{\alpha} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx$$

[0023] 则由于所述待测平面钢化玻璃旋转角度 α 产生的光程差为:

$$[0024] \quad \Delta_{\sigma}^{\alpha} = s_{\sigma}^{\alpha} - s_{\sigma}^{\perp} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{12} + bct$$

[0025] 由于玻璃旋转角度 β 产生的光程差为:

$$[0026] \quad \Delta_{\sigma}^{\beta} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{12} + bct$$

[0027] 式中, n为平面钢化玻璃的折射率;

[0028] 旋转角度 α 使载波干涉条纹发生一个周期的相移, 旋转角度 β 使干涉条纹发生两个周期的相移, 结合所述被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差, 得到有关光程差组的表达式。

[0029] 进一步地, 所述载波干涉条纹通过迈克尔逊干涉系统或云纹干涉光路系统产生。

[0030] 进一步地, 采用所述迈克尔逊干涉系统生成所述载波干涉条纹的过程包括:

[0031] 1) 略倾斜参考面平面反射镜(6), 使CCD相机(7)中产生一个载波干涉条纹图;

[0032] 2) 将所述被测平面钢化玻璃(8)置于被测面平面反射镜(4)和半反半透镜(5)之间, 将其厚度方向调整至与所述被测面平面反射镜(4)的法线方向一致;

[0033] 3) 缓慢转动旋转台使得所述被测平面钢化玻璃(8)旋转, 使载波干涉条纹图发生相移(ϕ), 当载波干涉条纹移动一个周期和两个周期时, 记录载波干涉条纹图及所述被测平面钢化玻璃(8)对应的旋转角度 α 和 β 。

[0034] 进一步地, 当所述被测平面钢化玻璃的面积 $\leq 10 \times 10 \text{cm}^2$ 时, 选用所述云纹干涉光路系统生成所述载波干涉条纹。

[0035] 进一步地, 所述平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 能够应用于透光材料的内应力测量中, 包括薄膜、塑料和力学光弹材料。

[0036] 本发明和现有技术相比具有如下有益效果:

[0037] 1. 本发明提供了一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法, 利用了玻璃透光性, 通过采集光斜射穿过玻璃后的光程变化来测量其内应力分布。由于玻璃的透光性良好, 因此测量范围不受限, 适用范围大。

[0038] 2. 而且本发明是通过无损和非接触方式检测, 给出了内应力常数的检测方法, 只需要绕旋转点缓慢转动被测钢化玻璃观察并记录载波干涉条纹周期性相移对应的旋转角度, 就能计算得到旋转点处的内应力常数及内应力分布函数, 检测数据简单, 代入方程组可直接得到内应力常数, 从而能够提高检测效率, 有利于平面钢化玻璃内应力的无损检测方法的大范围推广。

附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案, 下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是示例性的, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据提供的附图引申获得其它的实施附图。

[0040] 图1为本发明实施例中平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法的流程图;

[0041] 图2为本发明实施例1的检测原理示意图;

[0042] 图3为本发明实施例中光线穿过普通玻璃时的传播路径示意图;

[0043] 图4为本发明实施例中平面钢化玻璃内部折射率分布及光线穿过玻璃时的传播路径示意图;

[0044] 图5是本发明实施例2中平面钢化玻璃内应力测量的示意图;

[0045] 标号注释:1-激光,2-空间滤波器,3-平凸透镜,4-被测面平面反光镜,5-半反半透镜,6-参考面平面反光镜,7-CCD相机,8-被测平面钢化玻璃,8'-绕旋转点旋转一定角度后的平面钢化玻璃,9-高密度衍射光栅,10-衍射级数。

具体实施方式

[0046] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0047] 当待测平面玻璃为钢化玻璃时,由于钢化处理过程中冷却是对称进行的,因此内应力分布为沿着厚度中心轴对称分布,即内应力分布为偶函数。将其在厚度中心($x=0$)处展开成麦克劳林级数形式为:

$$[0048] \quad \sigma(x) = \sigma(0) + \frac{\sigma''(0)}{2}x^2 + \dots$$

[0049] 舍去高阶项,并令 $\sigma(0) = b$, $\frac{\sigma''(0)}{2!} = -a$,则上述形式改写为:

$$[0050] \quad \sigma(x) = -ax^2 + b$$

[0051] 式中, σ 为内应力, x 为平面钢化玻璃厚度方向坐标,坐标原点位于平面钢化玻璃的厚度中心, a 、 b 为内应力常数。

[0052] 因此,只需测定内应力常数(a , b),即可测得到钢化玻璃的内应力分布。

[0053] 本发明提供了一种平面钢化玻璃内应力分布的无损检测方法,能够通过无损和非接触方式得到内应力常数,方法包括:

[0054] 1)沿被测平面钢化玻璃厚度方向的法线方向进行光学干涉实验以形成载波干涉条纹,绕旋转点缓慢转动所述被测平面钢化玻璃,使载波干涉条纹发生相移,得到载波干涉条纹移动一个周期和两个周期时所述被测平面钢化玻璃对应的旋转角度 α 和 β ;

[0055] 2)根据所述旋转角度 α 和 β 分别对应的载波干涉条纹发生的周期的相移,结合所述被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差,得到有关光程差组的表达式:

$$[0056] \quad \begin{cases} 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = \lambda \\ 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = 2\lambda \end{cases}$$

[0057] 式中 x 为被测平面钢化玻璃的厚度方向坐标,坐标原点位于被测平面钢化玻璃的厚度中心, t 为被测平面钢化玻璃的厚度, c 为光应力常数, λ 为激光波长;

[0058] 3)通过上述所述光程差组的表达式,能够计算得到所述被测平面钢化玻璃在所述旋转点处的内应力常数 a 和 b ,从而得到所述被测平面钢化玻璃中沿厚度方向在所述旋转点处的内应力分布:

$$[0059] \quad \sigma(x) = -ax^2 + b; x \in [-t/2, t/2].$$

[0060] 式中, σ 为内应力。

[0061] 本发明提供的检测方法,利用了玻璃透光性,通过采集光斜射穿过玻璃后的光程

变化来测量其内应力分布,由于玻璃的透光性非常好,因此适用范围大,解决了现有技术中测量范围受限的问题。

[0062] 而且本发明通过上述无损检测方法,只需要绕旋转点缓慢转动被测钢化玻璃观察并记录载波干涉条纹周期性相移对应的旋转角度,就能计算得到旋转点处内应力常数及内应力分布函数,操作简单,可以提高检测效率,有利于平面钢化玻璃内应力的无损检测方法的大范围推广。

[0063] 进一步地,沿厚度方向移动所述被测平面钢化玻璃能够改变所述旋转点的位置,能够得到所述被测平面钢化玻璃在其他点处的内应力常数a和b,及对应的内应力分布;通过得到所述待测平面钢化玻璃上多点处的内应力分布,能够重构出所述待测平面钢化玻璃的全场内应力分布。

[0064] 在一个可能的实施例中,所述载波干涉条纹通过迈克尔逊干涉系统或云纹干涉光路系统产生,以观察平面钢化玻璃的载波干涉条纹的周期性相移和对应的旋转角度。

[0065] 由于本发明提供的无损方法,以干涉条纹现象的光学实验为基础,所以本发明同样也可推广应用于其他类似工艺制作的透光材料如薄膜、塑料、力学光弹材料等的内应力测量工作。

[0066] 实施例1

[0067] 本实施例选用迈克尔逊干涉系统生成干涉条纹现象,组成平面钢化玻璃内应力的无损检测装置。

[0068] 如图2所示,迈克尔逊干涉系统由激光1、空间滤波器2、平凸透镜3、被测面平面反射镜4、半反半透镜5、参考面平面反射镜6和CCD相机7构成。激光的出射方向与空间滤波器2、平凸透镜3的透光轴及参考面平面反射镜6的法线方向一致,与半反半透镜5的法线方向成45°角,被测面平面反射镜4的法线方向与半反半透镜5的法线方向成45°角,与CCD相机7的光轴一致。

[0069] 采用以上装置的平面钢化玻璃内应力的无损检测方法具体实施步骤如下:

[0070] 步骤1、略倾斜参考面平面反射镜6,使得CCD相机7中产生一个载波干涉条纹图。

[0071] 步骤2、将被测平面钢化玻璃8置于被测面平面反射镜4和半反半透镜5之间,将其厚度方向调整至与被测面平面反射镜4的法线方向一致。被测平面钢化玻璃8固定后,由于光程差发生变化,载波干涉条纹图将发生调制。

[0072] 如附图3所示,当将待测平面玻璃为无应力状态时,光线穿过玻璃时的光程差为:

$$[0073] \quad \Delta_0 = t \left(\frac{n_0}{\cos \beta} - \frac{1}{\cos \alpha} \right)$$

[0074] 式中t为玻璃厚度, n_0 为玻璃的折射率, α 为入射角, β 为折射角。

[0075] 当入射光垂直于玻璃表面时, $\alpha = \beta = 0$ 。此时由于在光路中增加了玻璃而产生的光程差为:

$$[0076] \quad \Delta_0^\perp = (n_0 - 1)t$$

[0077] 在钢化玻璃中,内应力与折射率的关系可表示为:

$$[0078] \quad n = -c\sigma = acx^2 - bc$$

[0079] 式中,n为平面钢化玻璃的折射率。

[0080] 则光线垂直透射穿过所述待测平面钢化玻璃的光程为:

$$[0081] \quad s_{\sigma}^{\perp} = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} n \, dx = \frac{act^3}{12} - bct$$

[0082] 步骤3、缓慢转动旋转台,带动被测钢化玻璃缓慢转动,使载波干涉条纹图发生相移(ϕ),当干涉条纹移动一个周期(2π)和两个周期(4π)时,记录下干涉条纹图及所被测钢化玻璃对应的旋转角度 α 和 β 。

[0083] 需要说明的是,也可以选择干涉条纹移动的任意两个不同周期,记录被测平面钢化玻璃对应的旋转角度 α 和 β ,并不局限于一个周期和两个周期。本实施例中,以干涉条纹移动一个周期(2π)和两个周期(4π)进行解说。

[0084] 如附图4所示,当平面钢化玻璃旋转角度 α ,则光线由垂直入射变为以 α 角入射,此时光线穿过平面钢化玻璃的光程为:

$$[0085] \quad \begin{aligned} s_{\sigma}^{\alpha} &= \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \Gamma(x) \, dx = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \tan^2 \beta(x)} \, dx \\ &= 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha}} \, dx \\ &= 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2 - \sin^2 \alpha}} \, dx \end{aligned}$$

[0086] 在实验中, α 一般在 1° 左右,则上式可简化为:

$$[0087] \quad s_{\sigma}^{\alpha} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} \, dx$$

[0088] 则由于所述待测平面钢化玻璃旋转角度 α 产生的光程差为:

$$[0089] \quad \Delta_{\sigma}^{\alpha} = s_{\sigma}^{\alpha} - s_{\sigma}^{\perp} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} \, dx - \frac{act^3}{12} + bct$$

[0090] 同理,由于玻璃旋转角度 β 产生的光程差为:

$$[0091] \quad \Delta_{\sigma}^{\beta} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} \, dx - \frac{act^3}{12} + bct$$

[0092] 步骤4、在实际检测实验中,旋转角度 α 使干涉条纹发生一个周期的相移,旋转角度 β 使干涉条纹发生两个周期的相移,结合被测平面钢化玻璃旋转角度 α 和 β 产生的光程差,则上述光程差的表达式为:

$$[0093] \quad \begin{cases} 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha}{(acx^2 - bc)^2}} \, dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = \lambda \\ 4 \int_0^{\frac{t}{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta}{(acx^2 - bc)^2}} \, dx - \frac{act^3}{6} + 2bct = 2\lambda \end{cases}$$

[0094] 通过上述方程组能够计算被测平面钢化玻璃厚度中心处的内应力常数(a, b)。

[0095] 步骤5、结合被测平面钢化玻璃厚度中心处的内应力常数(a, b),得到被测平面钢

化玻璃沿厚度方向的内应力分布：

$$[0096] \quad \sigma(x) = -ax^2 + b; x \in [-t/2, t/2].$$

[0097] 步骤6、沿被测钢化玻璃厚度方向移动,改变旋转点的位置,并重复以上测量步骤,测得平面钢化玻璃多点处的内应力分布,进而重构出其全场内应力分布。

[0098] 本实施例提供的光路系统简单,且是已有的系统,易于实现该检测方法和操作,无需研发新的设备或改进,可以大幅降低检测设备的成本。而且该方法是一种无损和非接触测量方法,只需调整被测平面钢化玻璃的固定位置,能够完成内应力分布检测、构建全场内应力分布,从而可以提高检测效率,有利于平面钢化玻璃内应力的无损检测装置的大范围推广。

[0099] 实施例2

[0100] 如图5所示,如果平面钢化玻璃本身比较小($\leq 10 \times 10 \text{cm}^2$),则可以采用云纹干涉光路系统来测定实施例1中的光程差,进而测定其内应力分布。

[0101] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

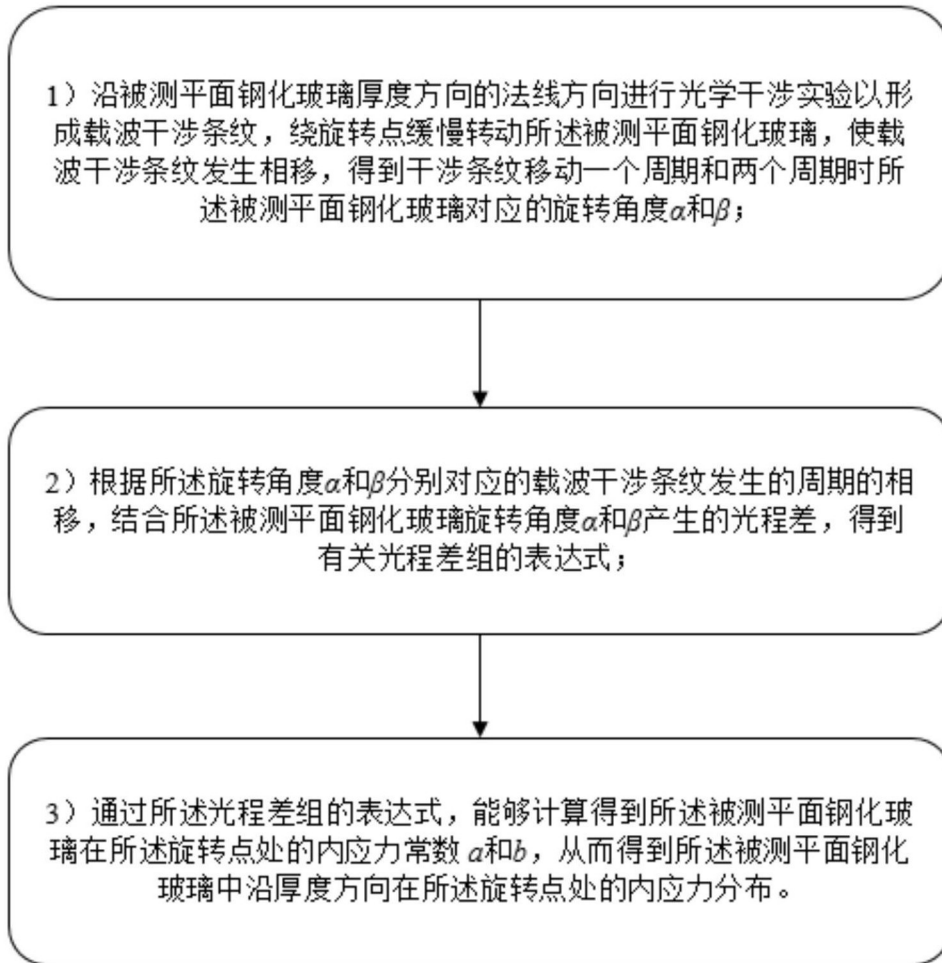


图1

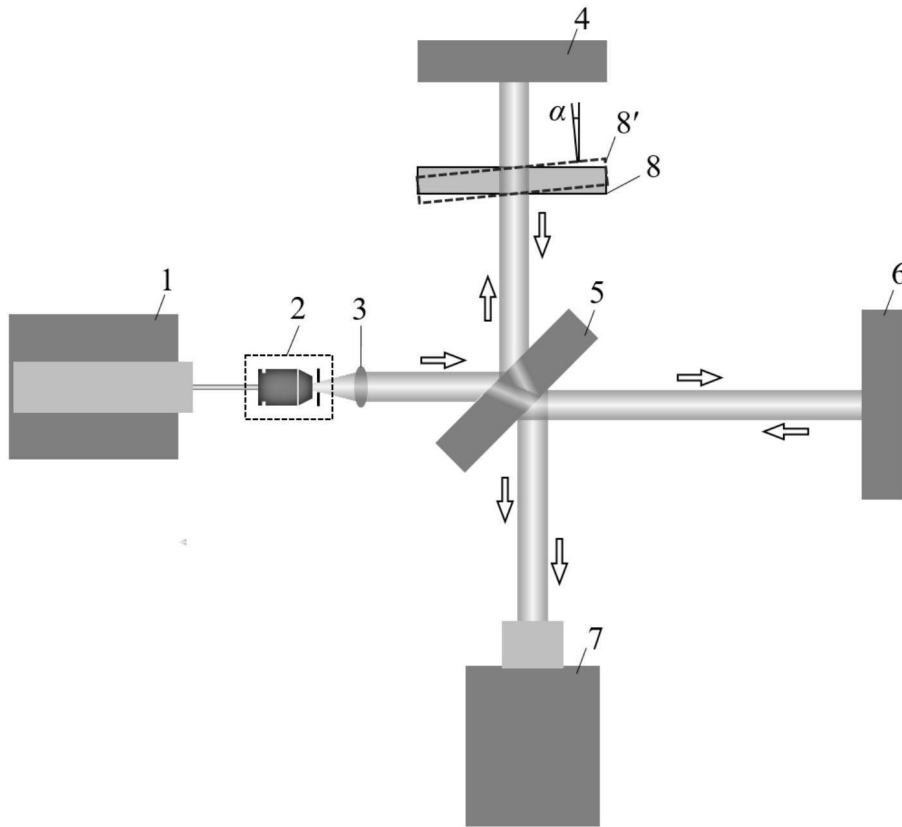


图2

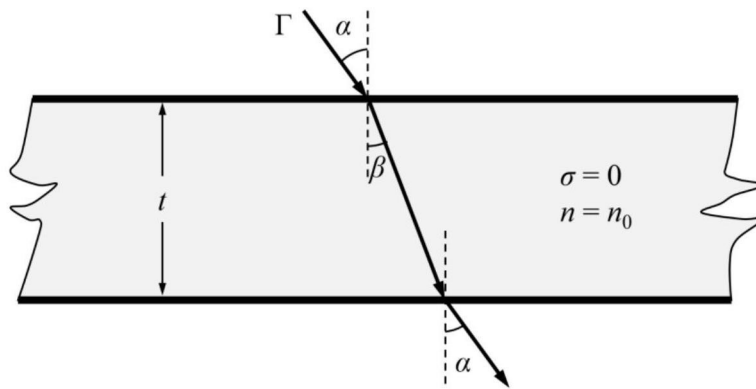


图3

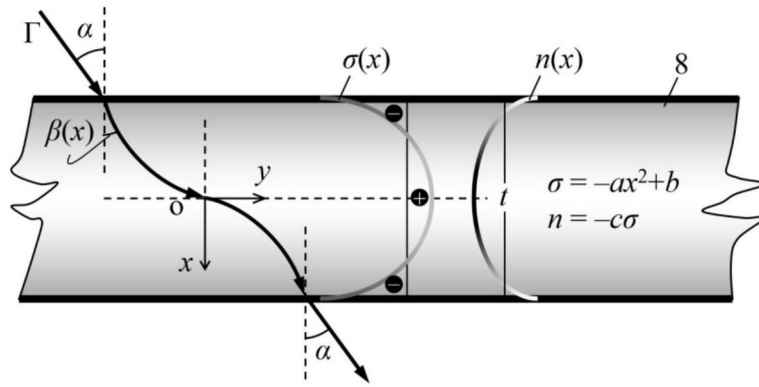


图4

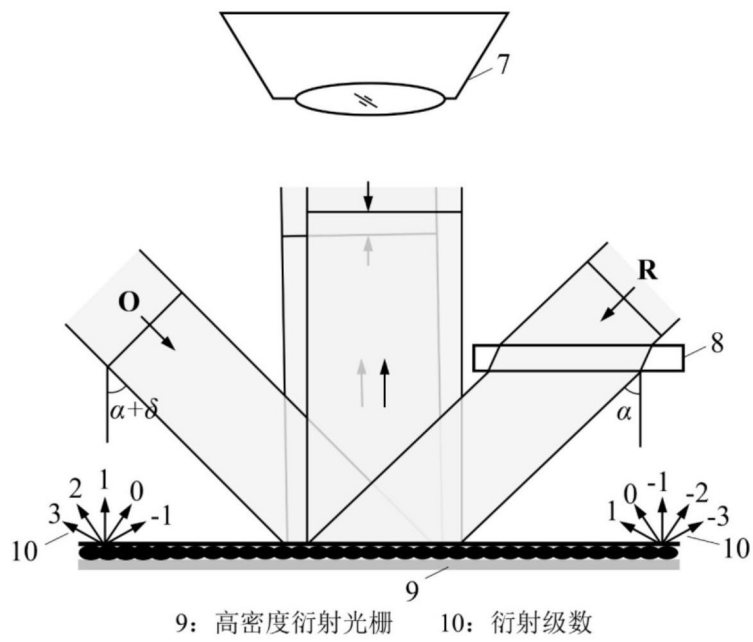


图5