

一种错位量连续可调的散斑照相法

姚 刚

(郑州工学院激光全息研究室)

提 要

本文提出一种错位量连续可调的圆-环双光楔作为错位干涉元件进行散斑照相。并引入“错位矢量”，对其加以分析，说明此法可改善边缘视场条纹质量。最后给出了良好的实验结果。

一、引 言

目前已有许多用于检测变形的散斑错位干涉照像方法^[1~6]。它们各有特点，也都存在着不少弊端。菲涅耳双棱镜法^[6]虽属较为简便且实用的方法，但它的错位量是恒定的，不能对不同的变形量予以调节。因而在检测中常发生变形过小时条纹太疏，变形太大时条纹过密难以判读。此外，错位方向恒定，定量计算较复杂。

为使实际检测灵敏度能与被测物变形状况良好匹配，这里提出一种圆-环双光楔错位散斑照像法，通过一个连续可调的错位元件来克服上述缺陷。

二、错位元件与实验记录方法

圆-环双光楔的制作很简单。将一块环形透明介质片的一个面，斜磨出一个小角度，使其两个面形成一个楔角，就成为一块环形光楔。以同样方法磨一个直径与环形光楔内径相等的圆光楔置入环形光楔的孔内，就构成了圆-环双光楔(见图1中它的截面图)。图1中O

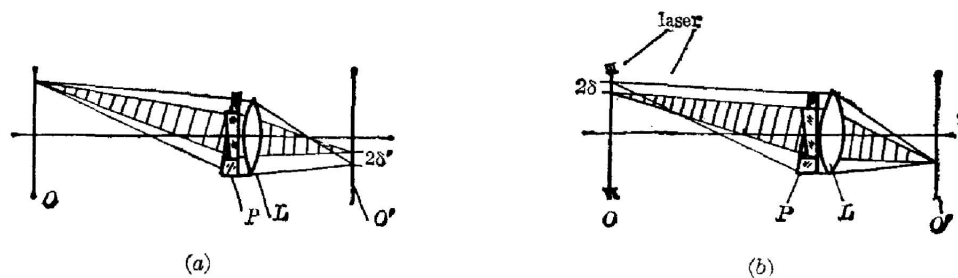


图1 圆-环组合双光楔的作用，记录光路布局以及其错位干涉原理图

Fig. 1 Function of E-CDW, and geometry of recording arrangement in shearing interferometry

(a) One point on a object after shearing;

(b) On the image plane interference between two points

为物面, O' 为像面, P 为圆-环双光楔, L 为记录镜头, δ, δ' 分别为物面和像面上的等效错位量。

与其它错位散斑照相法类似, 在拍摄时, 将组合光楔装夹在镜头上使之尽可能接近光瞳(如图 1 所示)。然后通过转动孔内的圆光楔, 就可连续地选择不同错位量进行错位散斑照像; 并可获得不同灵敏度的检测结果(见图 4)。其记录过程仍然是双曝光照像, 在两次曝光之间给被测物加载。将拍得的负片进行适当处理后, 经滤波即可观察到物体变形的条纹。条纹分析及滤波方法见文献[6]。

三、理论分析

首先引入所谓“错位矢量”来表示一块光楔的错位量和错位方向, 设 A 和 B 分别为环形光楔和圆光楔的错位矢量, 利用矢量运算方法可算出圆-环双光楔组合的错位量和错位方向, 即组合错位矢量。为分析方便, 设两块光楔楔角相等为 α , 且具有同样的折射率 n 。那么, 当转动圆光楔使其楔角方向与环形光楔楔角方向一致, 亦即 A 与 B 方向一致时, 组合光楔等效于一块楔角为 α 的光楔, 不形成两个错开像, 没有错位干涉; 而转动圆光楔使 A 与 B 反向时, 则有最大的错位量 2δ , 其中:

$$\delta = \alpha(n-1)。 \quad (1)$$

所以按矢量差定义可用下式表示圆-环双光楔的组合错位矢量 C (见图 2):

$$C = A - B, \quad (2)$$

其中 $|A| = |B| = \delta$ 。如图 2 所示, 为求解计算, 可取不动的环形光楔的错位矢量 A 的方向作为 x 轴方向建立直角坐标系(xOy); 引入 B 对于 x 轴的夹角 θ 为参变量; 并以 C 与 x 轴的夹角 ϕ 表示组合错位矢量 C 的方向; 同时令 i, j 分别为 X, Y 方向的单位矢量。则 C 可通过如下矢量分解式方便地给出:

$$C = i(x_A - x_B) + j(y_A - y_B) = i\delta(1 - \cos\theta) + j\delta\sin\theta。 \quad (3)$$

所以组合错位量:

$$|C| = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} = 2\delta\sin(\theta/2)。 \quad (4)$$

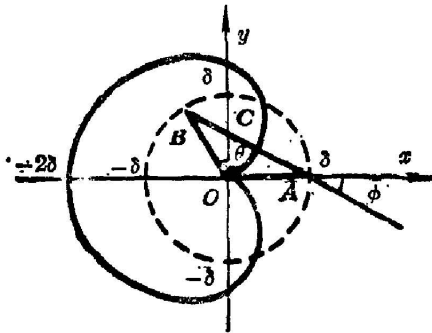


图 2 圆-环双光楔错位法的解析图与矢量图解

Fig. 2 Diagram of E-CDW shearing element and vector analysis

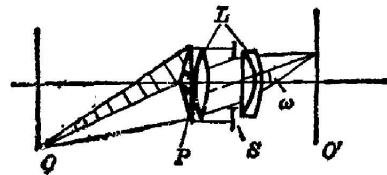


图 3 菲涅耳双棱镜法的渐晕影响, 阴影半部光线不能到达像面

Fig. 3 Vignetting effect of the method of Fresnel prism. No light from the shaded area can arrive at the imaging plane, thus no shearing

可见组合错位量随圆光楔转角 θ 的变化, 在 $0 \sim 2\delta$ 间取值。如图 2 所示, 其曲线呈心脏形。组合错位方向由下式确定:

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1}(y/x) = \operatorname{tg}^{-1}[(\cos \theta/2)/(\sin \theta/2)] = \operatorname{tg}^{-1}(\operatorname{ctg} \theta/2)。 \quad (5)$$

上式说明组合错位方向随圆光楔的转动, 相对 x 轴在 $\pm 90^\circ$ 范围内变化。(4)、(5)式表明: 圆光楔的转角 θ 确定了圆-环双光楔的错位方向和错位量, 反之亦然。

另外, 应该指出: 在作大视场记录时, 菲涅耳棱镜法受渐晕影响严重。如图 3 所示, 棱镜所接受的光锥只有一部分抵达像面。因而造成参予干涉的两部分光能中, 有一方减弱, 甚至消失。继而造成干涉条纹对比度下降, 直至消失(见图 5)。若用圆-环双光楔法, 由于两部分光能分别来自中孔和外环而不是两个半圆。这就在很大程度上减小了光学系统渐晕给条纹带来的影响, 扩大了检测区域, 也提高了边缘视场条纹质量。

四、实验及其结果

为了便于反映组合错位矢量的方向变化, 取 4 mm 厚的长方形铝板作为试件, 四边固定, 中心加载。用 He-Ne 激光束照明(如图 1(b)所示)。记录镜头为普通 75 mm 海鸥镜头。每次拍摄时的加载量均为 $20 \mu\text{m}$ 。这样条纹疏密变化直接反映了错位元件对灵敏度的调节作用(如图 4 所示)。

为比较两种方法受渐晕影响的程度, 把试件放置在视场边缘处拍摄。图 5 清楚地反映出它们的差别。

另外, 在加工和使用中应注意使圆、环两光楔的通光面积相等, 以提高条纹质量。

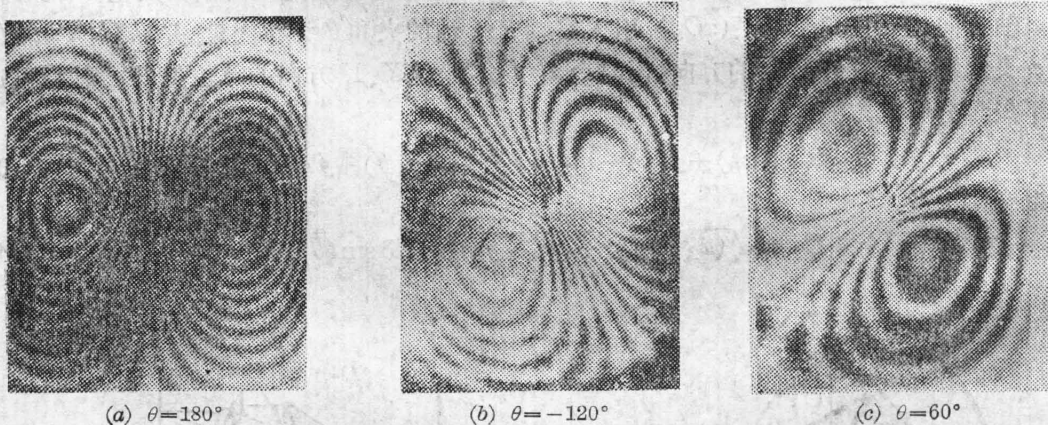


图 4 在同样的加载量下($\rho = 20 \mu\text{m}$), 通过转动圆光楔所得到的不同错位量和错位方向下的各种灵敏度的条纹, 试样为一四周固定的方板

Fig. 4 Changing the amount of shearing by turning the encircled wedge. The different fringe patterns belong to a clamped square plate loaded on the center (the value of deform is $20 \mu\text{m}$)

五、结 论

综上所述, 圆-环双光楔有效地改进了错位散斑照相法。其主要特点为:

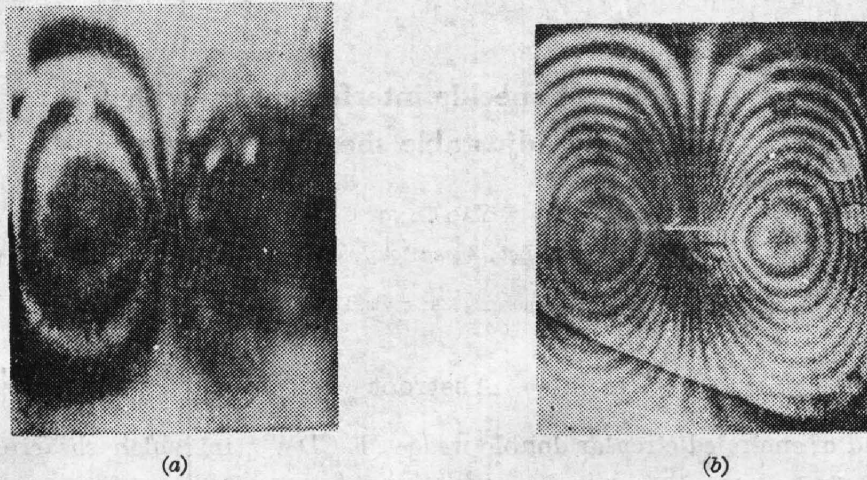


图5 圆-环光楔法与菲涅耳棱镜法比较提高了边缘视场条纹衬比,加宽了干涉范围

Fig. 5 Improved quality of fringe pattern in the border region of the viewing field and expanded testing region by using E-CDW instead of Fresnel prism

(a) Method of Fresnel prism (angle to border on the viewing field $W=20^\circ$); (b) Method of E-CDW ($W=35^\circ$)

1. 错位量在 $\theta \sim 2\delta$ 之间可以连续调节;
2. 在很大程度上克服了光学系统渐晕对条纹质量的影响,加宽了有效检测区域;
3. 元件制作简单,通用性好,使用方便;
4. 因元件关于光轴对称,故谱晕亦关于光轴对称,定量计算方便;滤波时全向灵敏;
5. 组合的圆-环双光楔完全可拆为两块单件分别使用;
6. 文中采用的“错位矢量”分析法,给各种复合错位方法的理论分析提供了简单的手段。

最后作者对柯敬唐副教授的指导和马跃武同志在实验中给予的帮助致谢。

参 考 文 献

- [1] Y. Y. Hung *et al.*; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 3 (Mar), 618.
- [2] R. K. Nurthy *et al.*; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 16. (Aug), 2865.
- [3] Y. Y. Hung *et al.*; *Experiment Mechanics*, 1978, **18**, No. 2 (Feb), 56.
- [4] M. A. Sutton *et al.*; *Experiment Mechanics*, 1983, **23**, No. 4 (Dec), 370.
- [5] R. K. Mohanty *et al.*; *Opt. Commun*, 1983, **47**, No. 1 (Aug), 27.
- [6] Y. Y. Hung and C. Y. Liang, *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 7 (Apr), 1046.

A method of speckle interferometry with continually adjustable shearing amount

YAO GANG

(Laser Holographic Lab, Zhengzhou Institute of Technology)

(Received 14 Decemeber 1984; revised 28 February 1985)

Abstract

A kind of encircled-circular double wedge (E-CDW), in which shearing amount could be varied continually, is recommended for speckle shearing interferometry. A "shearing vector" is introduced to analyse the related principle. Experimental results show that the quality of fringe patterns at the border of viewing field can be improved considerably.