

贴片散斑法及其应用

韩金虎 屠美容

(中国科学院 力学研究所)

提要 贴片散斑法将一种可剥离铝箔贴附在试件表面,经随机划痕制栅后,以其精细的光学结构和高度的反射本领,在白光或激光照射下,表面辐射率随机分布函数作为散斑场,采取直接记录手段,用全息底片对此作物体变形前后的两次曝光,所得到的散斑底片将包含宽广的空间频谱范围,且全场分析条纹清晰、灵敏度高、量程调节范围大。此方法不仅适用于各种材料的直接散斑法测量,具有经济、可靠、操作简便的特点,还能应用于平面及可展曲面构件的现场量测。

关键词: 激光散斑, 白光散斑, 散斑干涉计量。

1 引言

在散斑测量技术中,对散斑场的记录方式可分照相法和直接法两种,它们又分别称为主观散斑和客观散斑。

以抛光后金属表面精细光学结构,在白光照射下,辐射率随机分布函数作为散斑场的白光散斑直接记录法^[1],具有灵敏度高、记录设备简单,对环境稳定性要求低,适用于现场实地测量的特点。它既保留了激光散斑直接记录法的优点,又克服了激光光源携带和使用不方便的缺点,并抑制了相干噪声,改善了图片质量,使干涉条纹清晰、光滑。若以全息软片为记录介质,此方法还能应用于可展曲面变形的测量,把曲面问题简化为平面问题处理。因而这一白光散斑直接记录法在进行弹塑性应变场测试中值得推广的方法之一。

利用抛光法处理金属试件表面将产生两个效果:(1)使试件表面具有精细的光学结构;(2)增加试件表面对光的反射比。实验所得的散斑底片全场分析条纹图的清晰度与灵敏度可调范围将与这一处理手段密切相关。对此,文献[2]曾作过详细论述。但是利用抛光改造试件表面的方法仅对金属材料比较有效,对于大多数非金属材料,例如水泥、岩石、陶瓷、玻璃钢、以及碳纤维复合材料等构件,则不能得到预期效果。为解决这个问题,文献[3]曾采用镀银镜面移植法,使试件表面具有对光线很高的反射性能,再在移植后的镜面上划痕制作随机光栅,使试件表面同时具备精细的光学结构和高度的反射比两大特点。采用这

1986年12月5日收到。

种措施对一些非金属材料进行直接散斑法实验也能取得良好效果。但由于镀银镜面的来源困难以及移植工艺的复杂性,使该方法只能局限于解决平面问题。为此,有必要寻求一种新的材料和工艺过程,使试件表面的改造工作既经济、有效、简便、易行,又能适用于曲面构件,这就是本文提出的“贴片散斑法”缘由。

2 原理

散斑法测量物体变形的灵敏度与所记录的散斑底片有着直接而明确的关系^[1]。散斑底片中所包含的最高空间频率,就是散斑法测量物体变形时所能达到的最高灵敏度;散斑底片中所包含的全部空间频率域,就是其灵敏度的可调节范围。而散斑底片是由物体表面散斑场的映射而成,因而,物体表面的散斑场的空间频率特性是极为重要的物理量。只有散斑场本身具有宽广的空间频率域,才有可能获得宽广频率域的散斑底片,才有可能实现高灵敏度的计量。

抛光后的金属表面具有精细的光学结构和较强的反射本领,这是具有较高灵敏度的白光(或激光)直接散斑记录法得以实现的关键。对于不宜抛光和反射本领较差的材料,可以寻找一种质地细腻的、反射比高的材料贴附在试件上,使之具有精细的光学结构,达到金属表面抛光处理后的同样效果。

本文采用一种可剥离铝箔软片作为贴附材料,这种材料的结构如图1所示。它由铝箔、



图1 可剥离铝箔软片结构图

隔离层和塑料片基三者所组成,铝箔层的厚度约为 $1\sim 2\mu$,强度十分微弱,作为外加的贴附材料,对实际构件产生的增强效应可以忽略不计。但它的反射比强,对散斑的直接记录法能产生很好的效果。塑料片基是铝箔的载体,它与铝箔层之间有一层透明的树脂材料,称为隔离层,隔离层不影响光线的通过。它的作用:(1)保证能使塑料片基剥落而不损伤铝箔层;(2)形成保护膜,使铝箔不氧化,不易受损伤。

复盖着铝箔的试件表面相当光亮,几乎接近于镜面。此时反射光中以零频分量为主,直接用它作散斑场,散斑底片中所包含的空间频率将不会很宽广。为了在全场分析时能提高滤波孔的位置,增加灵敏度,必须首先增加散斑场的高频成分,使试件表面的辐射率呈高频的快速振荡的函数^[4],这就需要在铝箔表面制作随机光栅。随机光栅的结构愈精细,它所包含的空间频率就愈高,频谱域也就愈宽广。可根据测量需要制成单向的或正交的随机光栅,而其空间频谱将垂直于它的纹路方向延伸。

3 方法

3.1 可剥离铝箔软片的粘贴方法

可剥离铝箔软片镀层薄,且容易剥落,是作为直接记录的散斑场的理想材料。因其薄、弱,在收藏及使用务时务必轻拿轻放,保持清洁,一般可用502胶或环氧胶作粘接剂,502胶流动

性好、固化快,要求粘贴操作时间短,一次定位。其方法与粘贴普通云纹栅片相同。注意箔层与试件相贴,而塑料片基面露外。操作时先用透明胶带纸固定一端,用一小圆棒把胶液均匀地涂布在试件上,左手提起可剥离铝箔软片,右手用一块裹着数层纸的厚玻璃板推刮,左手的软片轻轻落下,挤压出多余的胶液,最后压上一适当重物,静放 8~24 小时,待胶液完全固化后,轻轻撕下塑料片基,此时留在试件上的便是透明隔离层复盖着的铝箔。

3.2 制作随机光栅的方法

随机光栅不同于寻常光栅。它没有严格的栅线节距和一定的截面形状,其谱也不象周期性光栅那样有孤立谱,而是在一定范围内的连续谱,谱频率的范围依赖于随机光栅的空间线度。因而随机光栅的栅线间距要求并不严格,只要做到大致均匀即可。具体操作过程如下:用一把极细软的铜丝刷,在贴有可剥离铝箔箔层的试件表面上沿一个方向或两个相互垂直的方向上轻轻划痕,划痕的方向可由变形测量的需要而定,经过划痕制作随机光栅的试件,若不立即进行实验,应存放在干燥器皿内。否则,铝箔会氧化,影响反射光的强度。

图 2 给出了铝箔表面在制作随机光栅处理前、后的显微结构的放大图。*a* 是处理前的,

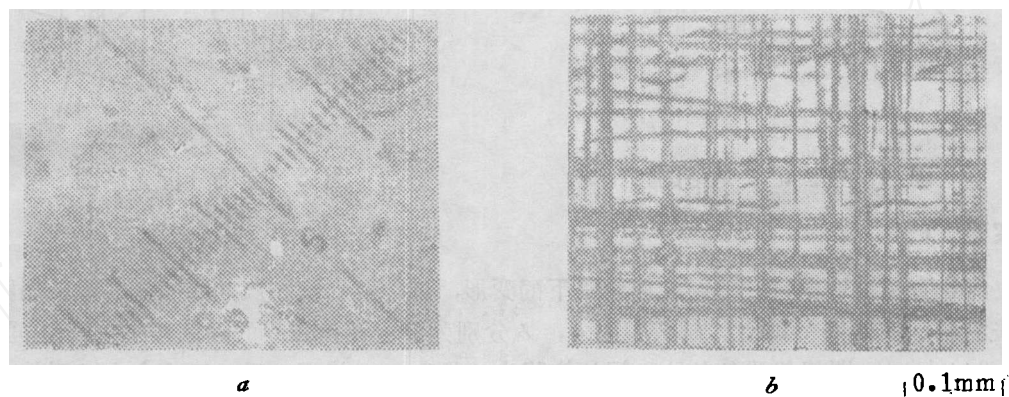


图 2 铝箔表面随机制栅处理前后显微结构图

a. 处理前; *b*. 制作正交随机光栅后。

其表面辐射率强,但变化趋势平稳,它必定与狭窄的空间频谱域相对应;*b* 是处理后的,此时表面辐射率起伏变化剧烈,它必定与宽广的全频域相对应,这在所拍摄的散斑底片的付里

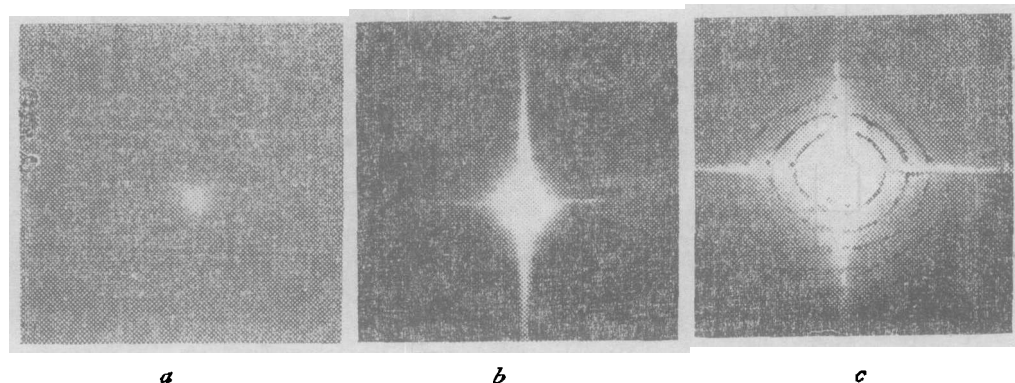


图 3 散斑底片的频谱范围

a. 处理前谱; *b*. 单向随机光栅谱; *c*. 正交随机光栅谱。

衰光路系统中得到了充分的证实。

图3是散斑底片在付里哀光路系统中频谱面上的光场分布。 a, b, c 三种情况分别代表处理前的铝箔表面, 制作单向随机光栅的铝箔表面和制作双向随机光栅后铝箔表面的散斑底片的频谱范围。

4 实验

本实验全部采用直接记录法, 即无镜头成象法, 记录光路图如图4所示。实验时把全息底片紧靠试件表面, 乳胶面朝向经过随机制栅后的铝箔。在试件变形前后两次曝光拍摄散斑底片, 经正常冲洗后, 将散斑底片放置图5所示的付里哀光路系统中滤波。全部过程参见文献[4]。

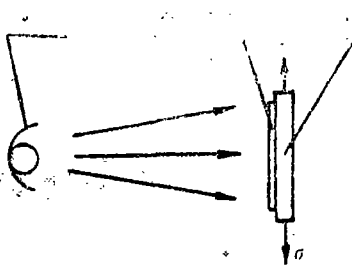


图4 直接记录光路图

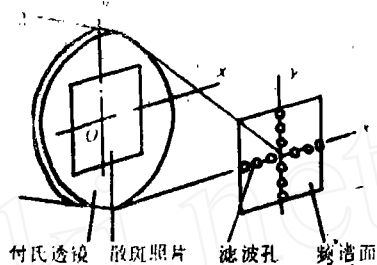


图5 全场分析光路图

实验 1

测量有机玻璃板材在单向拉伸作用下的变形, 试件的形状和尺寸如图6所示。用贴片散斑法测量, 载荷 $P = 36\text{Kg}$ 。图7中的 a, b 分别为沿 y 及 x 方向的等位移线, 其空间频率均为 244 1/mm , 即相邻两条条纹之间的位移为 $1/244\text{mm}$ 。根据 y 及 x 两个方向的干涉条纹,

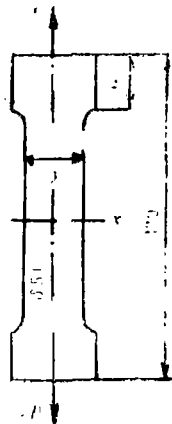


图6 试件形状尺寸图
材料: 有机玻璃。
 $p = 36\text{kg}$

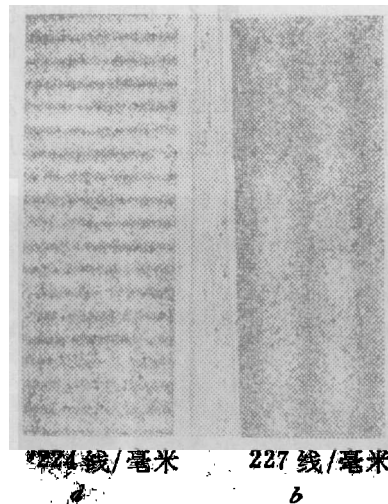


图7 全场分析干涉条纹图
 $a. y$ 方向等位移线;
 $b. x$ 方向等位移线。

不难求出该材料的弹性模量及波松比。

实验 2

测量碳纤维复合材料梁的弯曲变形。试件尺寸及加载方式如图 8 所示。实验是利用自制的现场用直接散斑记录仪记录的^[5]，试件表面的可剥离铝箔软片区域为 $80 \times 60 \text{mm}^2$ 。剥离塑料片基后，随机划痕制成正交随机光栅，全场分析干涉条纹图如图 9 所示。 a, b, c 三种分别代表 x 方向、 y 方向及与 x, y 轴夹角为 45° 的 l 方向上的等位移线，其空间频率相应为

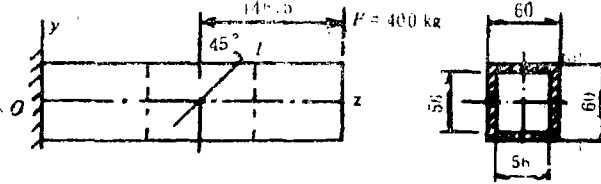
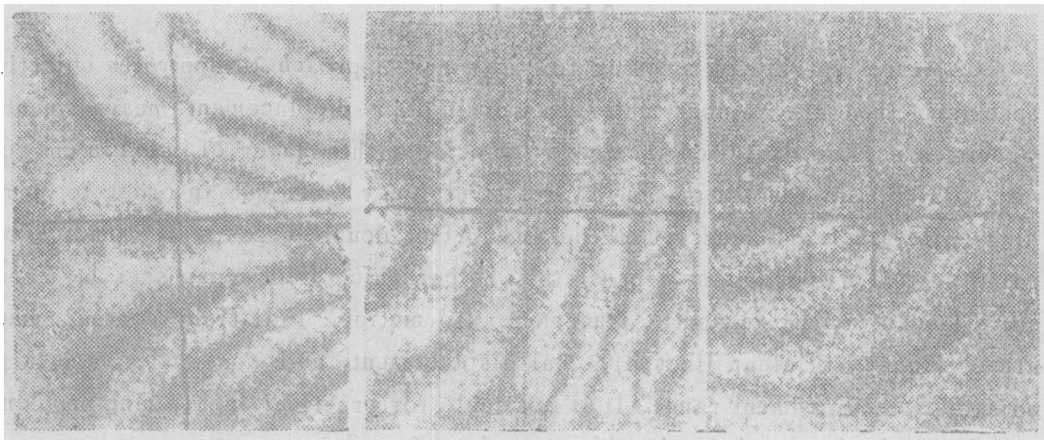


图 8 碳纤维矩形薄壁梁受力图

3041/mm、3041/mm 及 2771/mm。由这三幅不同的照片不难算出各点的 ϵ_x 、 ϵ_y 及 ϵ_l 。

5 结束语

贴片散斑法将一种质地精细、反射比高、价格低廉的可剥离铝箔贴附在试件表面，经随机制栅处理后，以其精细的光学结构和高度的反射本领，在白光或激光照射下的辐射率随机分布函数作为散斑场，采用直接记录法，以全息底片为介质，对试件变形前后作两次曝光，由此得到的散斑底片具有宽广的空间频率域，其全场干涉条纹图清晰、灵敏度高、量程调节范围大。该方法无论在金属或非金属材料上均可进行，且经济、可靠、操作简便，能适用于各种平面及可展曲面构件的变形测量，能在现场得以应用。



a. 304 线/毫米 b. 304 线/毫米 c. 277 线/毫米

图 9 碳纤维复合材料梁弯曲变形全场分析图。a. x 方向等位移线；
b. y 方向等位移线；c. l 方向等位移线。

参考文献

- [1] 屠美容、李敏华、韩金虎, 用白光散斑的直接记录法测量曲面变形, 华东第三届实验力学学术交流会论文, 厦门, 1986年10月。
- [2] 韩金虎, 激光散斑技术和提高直接散斑法全场分析条纹图清晰度的技术途径, 全国第三届实验应力分析学术会议文集, 成都, 1982年11月。
- [3] 韩金虎, 散斑法在各种材料实验中的应用, 中国航空学会计量测试学术交流会论文, 北京, 1985年。
- [4] 屠美容、韩金虎、吴阜肤, 白光散斑的直接记录和非相干分析系统, 力学学报, 1986年第6期。
- [5] 韩金虎, 现场用直接散斑记录仪, 第三届华东固体力学学术讨论会文集, 九华山, 1986年10月。

The Objective Speckle of Sticking Foil and Its Applications

Han Jinhu Tu Meirong

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Objective speckle of sticking foil is a new approach to apply the objective speckle method into various materials for in-plane displacement measurements. Specimen surface has been treated by sticking a thin layer of aluminium foil and scratching a random grating by relatively easy technique in order to form high reflectance and fine optical details. After double exposes by direct recording system without using lenses, the holographic film possesses a broad spatial spectrum range and displacement information. Full-field contour maps are obtained with clear lines of equal displacement, high sensitivity, and large adjustable measurement range. It is available for practical engineering problems and for both plane and developable curved surfaces.

Key words: speckle metrology, Laser speckle, white light speckle.