

用剪切散斑术研究 SMA 对金属材料形变的影响*

孙 欣 赵志敏

(南京航空航天大学应用光学研究室, 南京, 210016)

摘要: 采用一种新的多通道散斑干涉计量术, 研究形状记忆合金(SMA) 埋入铜片对其应变的影响。这种新技术是在剪切散斑照相光路中, 置入一光路转换器, 实现多通道记录。在同一张记录介质上记录下试件形变的三种状态时的剪切散斑图, 而且用全场滤波分析时, 可同时显示各通道的试件变形信息, 以进行不同状态变形的比较。文中给出理论分析及实验结果。结果表明, 各通道散斑干涉条纹清晰, 衬比高。条纹变化规律说明 SMA 埋入提高了金属材料抗应变能力。

关键词: SMA 金属材料 形变 多通道剪切散斑照相术

Researching of the influence on metal material strain after embedding SMA by using a speckle-shearing photography

Sun Xin, Zhao Zhimin

(Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016)

Abstract: With the help of a new multichannel speckle-shearing photography, a study is conducted of influence on a copper thin slice strain after SMA is embedded. In this photography the rotating optical link converter is put in the light path to change the imaging positions so that the multichannel recording is realized. In one recording medium three speckle patterns of amorphous state are recorded, and at the same time, with the help of full field filtering analysis, the amorphous information of these channels be presented conveniently and compared easily. The paper gives theory analysis and experiment results. Which show that after embedding SMA, the metal material has stronger rigidity.

Key words: SMA metal material deformation multichannel speckle-shearing photography

引 言

Hung Y. Y. 和 Leeder J. A. 等人提出剪切散斑干涉术^[1]以来, 人们又提出了许多散斑干涉系统^[2-4]。剪切散斑干涉术与一般的散斑干涉术相比, 它可以直接测量位移的微商, 但由于通道数受限, 对变形状态无法比较。为了进行 SMA 埋入对金属材料形变影响各种状态的比较研究, 我们提出用多通道剪切散斑干涉计量术不仅能得到高衬比的条纹图, 而且全场滤波时, 一次滤波就可同时观察到多个通道的干涉条纹图样, 并且可计算每个通道的位移微商, 从而进行各状态比较。作者采用这种新方法对 SMA 埋入金属材料在相同载荷下形变各种状态进行比较研究, 得到满意结果。

1 基本原理

1.1 光路转换器成像规律

多通道剪切散斑记录系统的主要部件光路转换器为光楔-透镜成像装置, 如图 1 所示。

* 航空科学基金资助。

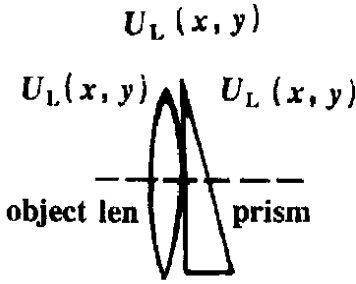


Fig. 1 The photooptical device with light path converter

为光路转换器转角, $r = x \cos \varphi + y \sin \varphi$, 见图 2。

物分布通过光楔后, 在像平面的光场分布, 可用相干成像过程分析, 设用单色平行光照明, 振幅为单位振幅, 则物场的复振幅分布 $U(x_0, y_0) = 1 \cdot U(x, y)$

按照菲涅耳衍射公式, 在透镜前表面的光场分布为:

$$U_L(x, y) = \frac{1}{j\lambda d_0} \exp(jKd_0) \iint U(x_0, y_0) \exp\left\{ \frac{jK}{2d_0} [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] \right\} dx_0 dy_0 \quad (3)$$

式中, d_0 表示物距。

像方的场分布为

$$U_L(x_i, y_i) = \frac{1}{j\lambda d_i} \exp(jKd_i) \iint U'_L(x, y) \exp\left\{ \frac{jK}{2d_i} [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2] \right\} dx dy \quad (4)$$

式中, d_i 表示像距。

将(2)式代入上式, 并略去无关的位相因子, 像方复振幅分布为:

$$U(x_i, y_i) = \frac{1}{M} U \left[\frac{x_i}{M} - (n-1)\alpha d_0 \cos \varphi, -\frac{y_i}{M} - (n-1)\alpha d_0 \sin \varphi \right] \quad (5)$$

$$\text{光强分布为: } I(x_i, y_i) = \frac{1}{M^2} |U \left[\frac{x_i}{M} - (n-1)\alpha d_0 \cos \varphi, -\frac{y_i}{M} - (n-1)\alpha d_0 \sin \varphi \right]|^2 \quad (6)$$

上式说明, 物方 $U(x_0, y_0)$ 与像方 $U(x_i, y_i)$ 分布形式相同, 得到一倒置的与原物相同的像, 而且像的中心位置随光路转换器转动而改变, 并分布在以半径为 $(n-1)\alpha d_0$ 的圆周上。

1.2 通道数计算

由文献[5]可得通道数 N 为: $N \approx 2\pi l_1 \delta / D$ (7)

式中, $\delta = (n-1)\alpha$ 。若用光路转换器旋转的角增量 $\Delta\Phi$ 表示像分离条件, 则:

$$\Delta\pi \leq 2\pi N = D / (l_1 \delta) \quad (8)$$

上式中, δ 为光楔偏向角; n 为光楔折射率; α 为光楔顶角; D 为试件直径; l_1 为光楔到平板距离。

2 试件、实验方法及结果

根据上述多通道剪切散斑干涉术原理, 实测时采用 3 通道剪切散斑干涉计量的方法, 实现形状记忆合金 SMA 埋入对金属材料离面形变的 3 种状态的记录及对比实验, 实验光路如图 3。其中, A 为激光源, B 为扩束镜, C 为试件, P 为应力, L 为光路转换器, D 为错位镜, H 为全

用 $U_L(B, A)$ 表示入射到透镜上的波前复振幅, $U'_L(B, A)$ 表示通过透镜后的波前复振幅, 近轴条件下有:

$$U'_L(x, y) = U_L(x, y) \exp[-jK(x^2 + y^2)/(2f)] \quad (1)$$

同样有

$$\begin{aligned} U_L''(x, y) &= U'_L(x, y) \exp[-jK(n-1)\alpha r] \\ &= U_L(x, y) \exp[-jK(x^2 + y^2)/(2f)] \times \\ &\quad \exp[-jK(n-1)\alpha(x \cos \varphi + y \sin \varphi)] \quad (2) \end{aligned}$$

式中, $U_L''(x, y)$ 为通过光楔后光波的复振幅分布, φ

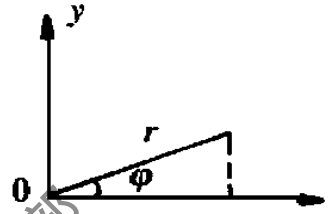


Fig. 2 The coordinate of optical system

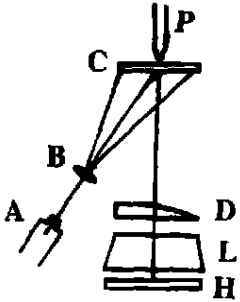


Fig. 3 The experimental layout

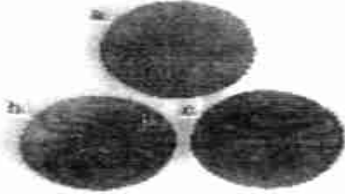


Fig. 4 The test piece

息底板。

试件是用铜制圆盘材料,直径为 30mm,厚度为 0.2mm。埋入的 SMA 细丝为 TiNi 合金,直径为 0.5mm,温度转折点为 42°C,记忆形状为直线,根据其记忆特性,将 SMA 细丝做成直径为 10mm 圆环,粘合于试件表面,其位置与试件同心。如图 4 所示。

对比实验的 3 种状态为:(1)试件未埋入 SMA 原始状态;(2) SMA 埋入状态;(3)光激励 SMA 状态。将试件边缘固定,在其中心位置施加相同集中力载荷(载荷为中心法向位移 20 μ m)。光路转换器每转动一次,对试件作一次 1 种状态下形变的双曝光散斑记录。实验中,在同一张底板上,依次记录下试件 3 种状态的形变

剪切散斑图。首先记录原始状态,试件加载形变的散斑图;再埋入 SMA,调节光路转换器成像位置,然后对试件施加相同载荷,再记录下此时的试件的形变散斑图。最后用光激励试

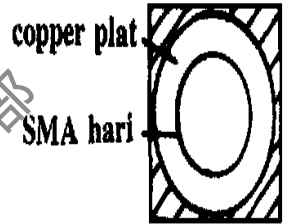


Fig. 5 Experimental results

件中 SMA 使其达到转折温度点, SMA 进入恢复记忆状态,进行相同操作,记录下第 3 种状态下试件的散斑图。最终获得一张 3 通道剪切散斑图。在对其进行全场滤波分析时,频谱面上同时观察到 3 种状态下的形变散斑干涉条纹,如图 5 所示。

3 分析讨论

实验结果表明:(1)图 5 中 3 通道剪切散斑图的干涉条纹清晰,反衬度高。显然比普通的剪切散斑方法更容易分析比较不同状态下的形变干涉条纹分布情况,并能较准确地作出判别结果。(2)由图 5 可见,3 种状态的干涉条纹分布相似,表明试件在 3 种状态下具有相似的形变分布,但条纹的间距明显不同。对应 a, b, c 3 种状态条纹间距依次变宽,条纹变疏。此结果说明,在同一试件同一位置施加相同载荷,铜制薄片原始状态的形变值大于 SMA 埋入状态的,而此状态的形变值又大于 SMA 激励后状态的。总之, SMA 激励后的铜板在相同载荷作用下的形变最小。

参 考 文 献

- 1 Hung Y Y, Cling C Y. Appl Opt, 1979; 18(7): 1046
- 2 Shechepinov V P, Viasov N G, Novikov S A. Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, 1990; 60(9): 43~ 50
- 3 Wei A, Carlsson T E. Opt Lett, 1997; 22(20): 1538~ 1540
- 4 赵志敏, 林有义, 俞洪敏. 光学学报, 1997; 17(3): 304~ 307

* * *

作者简介: 孙欣,女,1957年5月出生。访问学者,青岛大学物理系副教授。主要从事光学教学及光电转换和光全息技术研究。

赵志敏,女,1955年3月出生。副教授,硕士导师。主要从事近代光测及光信息处理的教学、科研工作。