

射激发下,用 MPF-4 型荧光分光光度计测定的荧光光谱(图 3)。其荧光半宽度约为  $380 \text{ \AA}$ 。染料若丹明 6G 的 ASE 线宽,是用 WDS-3 型光栅单色仪分光,硅光电池(或光电倍增管)接收测定的(图 4),谱线半宽度约为  $90 \text{ \AA}$ 。

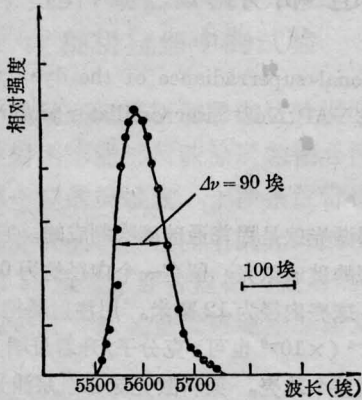


图 4 染料激光三维 ASE 的线宽

### 三、讨论

从受激辐射的物理机制上来看,受激辐射的一维性,并不是激光工作物质固有的。之所以受激辐射具有一定的方向性,都是一维的,是由于早期的激

光工作物质的增益系数太低,要达到激光阈值,需借助于某种光学反馈元件,如 F-P 谐振腔等。

近年来,随着高增益染料激光的发展,就不一定要借助于激光谐振腔,由此就可以实现无谐振腔的二维的、三维的 ASE。

三维 ASE 激光的实现,可作为一种特殊光源,将有一些独特的用途。

我们的器件条件和测试手段都较差,所得的结果只是初步的。进一步的工作,有待继续深入的研究。

本工作得到苏锵同志的指导,宋连仁同志的帮助,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Z. Gy. HorVath et al.; *Laser Focus*, 1980, **16**, No. 6, 32.
- [2] Z. Gy. HorVath et al.; *Opt. Commun.*, 1980, **35**, No. 1, 142.
- [3] 王西坡, 彭桂芳; 《激光》, 1982, **9**, No. 3, 174.

(中国科学院长春应化所 王西坡 彭桂芳  
1982年2月18日收稿)

## 激光全息无损检测中轮胎内部缺陷深度的确定

**Abstract:** Using the deformed triangular profile model, the calculation formula of the defects depth are derived. The factors that influence the calculation accuracy are analysed, and the expression for the minimum loading pressure is given. Calculation results for determination of internal depth of the plane tire show that the theory agrees with the experiments.

### 前言

激光全息无损检测技术,已被用于检测物品内部结构的完好性。理论和实践均已证明<sup>[1]</sup>,内部缺陷的平面位置与全息再现图象中的条纹畸变区,具有直接对应关系;缺陷的大小以及它的平面位置可从条纹图方便地确定。准确地知道缺陷的深度在很多场合下是非常必要的。比如要判断使用过的旧轮胎是否具有翻新价值时,缺陷深度就是一个重要的参数。所以研究和确立条纹数与深度之间的关系是有现实意义的。我们利用变形剖面三角形模型,借助已给出的变形量公式,确立了缺陷深度与条纹数

的关系。除其中的比例系数外,式中各参数都可从条纹图象和检测设备中获得。

### 缺陷深度与条纹数关系式

设物体内部具有缺陷  $F$ ,如图 1(A) 所示,  $F$  的直径为  $D$ ,在外加应力(假定为抽真空)作用下,由于内力的作用,将产生如图 1(B) 所示的应变。在物体  $S$  表面的二次曝光全息再现图象上,缺陷区附近的干涉条纹图案如图 1(C) 所示。环状条纹不仅标明了缺陷的大小和平面位置,而且正如在文献<sup>[1]</sup>中已指出,条纹间距反映变形量的大小。

设缺陷中心向  $S$  面的方向发生  $\Delta r$  的变形(位

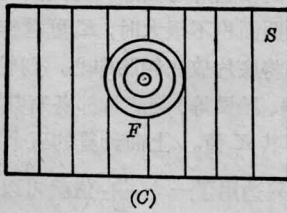
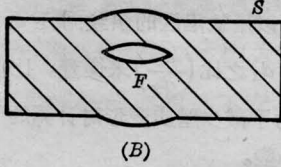
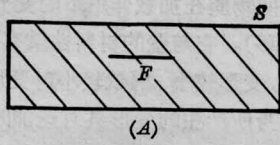


图 1

(A)一具有内部缺陷  $F$  的物品剖面图; (B)一真空加载作用下物品变形后的剖面图; (C)一物品  $S$  表面二次曝光全息图再现现象上的干涉条纹图

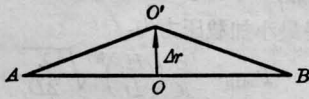


图 2 缺陷在  $S$  面方向变形剖面的三角形模型

移), 则缺陷表面中心点到缺陷边界的长度  $OA$  (或  $OB$ ) 相应地变成  $O'A$  (或  $O'B$ ) (见图 2)。

因为  $OA = \frac{D}{2}$

所以  $O'A = \frac{D}{2} + (N-1) \frac{\lambda}{2}$  (1)

式中第二项表示在应力作用下  $OA$  的增量。

$$N = n_1 + n_2 \quad (2)$$

其中  $n_1$  为在  $O'A$  线上的亮条纹数, 可取 1, 2, 3, ...;  $n_2$  为  $O'A$  上的暗条纹数, 可取 1, 2, 3, ...;  $\lambda$  为拍摄全息图时所用光源的波长。

在小形变的情况下  $\Delta r$  很小,  $O'A$  可看作直线, 由图 2 可得:

$$(O'A)^2 = \Delta r^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (3)$$

将(1)式代入(3)式整理后得:

$$\Delta r^2 = \frac{1}{4} (N-1) \lambda [(N-1) \lambda + 2D] \quad (4)$$

这是缺陷变形量与缺陷区条纹数关系式, 条纹数愈

多表示变形量愈大。因条纹数与观察方向有关<sup>[2]</sup>, 对于法向变形量有:

$$\Delta r_n^2 = \frac{1}{4} (N_n - 1) \lambda [(N_n - 1) \lambda + 2D] \quad (5)$$

$N_n$  是沿法向变形方向观察到的条纹总数。

[3] 给出在真空加载下脱层位移量的计算式为:

$$\Delta r_n = \frac{KP}{E} \frac{D^4}{H^3} \quad (6)$$

其中  $K$  为一比例系数;  $P$  为加载压力;  $E$  为杨氏模量;  $D$  为脱层直径;  $H$  为脱层深度。将(6)式代入(5)式整理后得到:

$$H^3 = 2KPD^4/E \sqrt{(N_n - 1) [(N_n - 1) \lambda + 2D] \lambda} \quad (7)$$

通常  $2D \gg (N_n - 1) \lambda$ , 故(7)式可写成:

$$H^3 = \frac{KPD^3}{E} \sqrt{2D/(N_n - 1) \lambda} \quad (8)$$

这就是缺陷深度与缺陷区条纹数关系式, 式中  $P$ 、 $E$  均为已知数,  $D$  及  $N_n$  可从全息图再现现象上得到, 只要通过实验确定系数  $K$ , 便可算出深度  $H$  来。

### 飞机轮胎内部脱层深度计算

根据全息再现图象给出的有关数据和加载压力, 利用公式(8)对飞机轮胎内部五个脱层深度进行了计算, 所得结果如表所示。从中可看出,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三个脱层的深度计算值与实测值很好地吻合。对具有较大椭圆度的脱层  $D$  和  $E$ , 当用其短轴进行计算时, 结果也与实际接近。

飞机轮胎内部脱层深度计算值

脱层	脱层区条纹数 $N$	脱层直径 $D$ (毫米)	加载压力 $P$ (大气压)	深度计算值 $H_{计}$ (毫米)	深度实测值 $H_{测}$ (毫米)
A	4	3	0.0526	1.82	1.7
B	2	4	0.0526	3.05	3.0
C	3	5	0.0764	4.00	4.0
D	2	$a=23$ $b=12$	0.0526	23.5 11.0	10
E	12	$a=18$ $b=15$	0.0764	13.4 10.8	10
备注	$K/E = 7.5 \times 10^{-2}$				

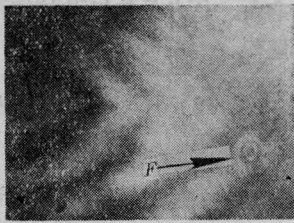


图3 脱层A附近轮胎内表面二次曝光全息图再现现象条纹图

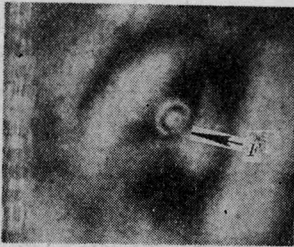


图4 脱层C附近轮胎内表面二曝光全息图再现现象照片

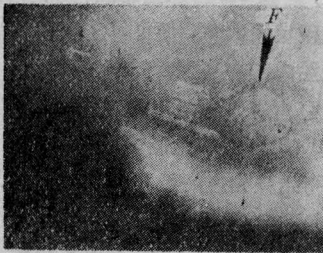


图5 脱层E附近轮胎内表面二次曝光全息图再现现象照片

图3至5分别是A、C、E各脱层的两次曝光全息再现现象照片。

### 讨论

#### 1. 影响计算准确性的因素

首先,由于公式(6)是针对圆形脱层的,故深度计算式(8)也只是对圆脱层才是精确的。但是从上表我们可看到,对椭圆脱层,用其短轴进行计算结果与实测相差不大,而用其长轴计算相差就较大了。因此为了估计椭圆脱层的深度,式(8)中的 $D$ 应取其短轴。

其次,影响计算精确性的因素是缺陷壁——缺

陷到拍照面之间物质在加载作用下的变形(亦称为物体的整体位移)。它与壁的材料性质有关,当材料的模数较高时,变形较小,模数较小时变形较大。这变形与缺陷本身所产生的变形具有迭加效应。严格说来计算缺陷深度时,应把它扣除。但当壁质与缺陷两者的模数相差较大加载压力较小时,壁质变形引入的误差可以用缺陷区的条纹间距 $d_1$ 与缺陷周围的条纹间距 $d_2$ 之比 $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$ 来衡量。比值小引入的误差也小。为了减少壁质变形对计算的干扰,加载应尽可能地小些。

实验系数 $K$ 与实验时所用光路系统有关,是底片到缺陷的距离和底片与变形矢的夹角的函数。当距离一定,拍照面积不很大时, $K$ 可看作常数。在轮胎检测中,将底片放在轮胎中心,则轮胎各部位(如胎冠、胎肩、胎圈等)与底片都各有其固定距离,相应地也各有其 $K$ 值。上面计算的五个脱层都处在胎冠区,故只选了一个 $\frac{K}{E}$ 值就可以了。

#### 2. 最小加载压力的确定

从工程学的观点来说,加载压力不宜选得过高,但从判别缺陷的角度来看,加载压力必须具有一定数量。显然, $n_1=n_2=1$ 是最少可读条纹数。应用(8)式可得最小加载压力为:

$$P_{\min} = \frac{E}{K} \left(\frac{H}{D}\right)^3 \sqrt{\frac{\lambda}{2D}} \quad (9)$$

它是材料性质、缺陷尺寸和光路系统的函数。对一已知的检测系统来说,当所要检出缺陷的大小和深度知道后,便可利用(9)式算出所需的最小加载压力。

### 参 考 文 献

- [1] 谢相森;《激光》,1981,8, No. 10, 30.
- [2] 同济大学公路工程研究所等;“用单张全息图对三维变形量的定量分析”,(实验报告),1977年6月。
- [3] K. E. Robert; Holographic nondestructive testing, Academic Press, New York and London, 1974, p361.

(化学工业部曙光橡胶工业研究所

谢相森 1981年10月8日收稿)