

用激光全息干涉法检测轮胎内部缺陷

谢相森

(化工部曙光橡胶工业研究所)

提要: 本文利用轮胎受荷前后表面反射光波的干涉原理,从布喇格方程出发,导出了干涉条纹间距与变形量的关系式,分析了内部缺陷与条纹畸变的关系。

Inspection of internal flaws of tire with laser holographic interferometry

Xie Xiangsen

(Shuguang Institute of Rubber Industry, Ministry of Chemical Industry)

Abstract: The formulas for strain quantity and fringe spacing on the basis of Bragg equation are derived. The relationship between fringe deformation and internal flaws is analysed.

一、前言

轮胎是飞机和汽车负荷的支承者。轮胎质量的好坏,直接影响到飞机和汽车的行驶安全。随着行驶速度的提高,对轮胎质量的要求也愈来愈高。1966年 R. M. Grant 指出用激光全息照相法对橡胶制品进行无损检验是有效的手段^[1]。很多国家都在这方面进行了大量工作。各种型号的全息轮胎分析仪器相继出现。美国工业全息照相公司(I. H. I.)几年来先后搞了五代产品^[2]。

全息干涉法检测轮胎,实质是记录轮胎受荷前后其表面(内表面或外表面)所反射的光波,然后观察这两光波所发生的干涉,借对干涉条纹的分析探知胎内结构。

二、变形量与条纹间距的关系

观察条纹是通过将全息片放置于参考光

下照射进行的。干涉条纹发生在全息图一级衍散波方向,距离为 L 的地方。由全息成像原理可知,距离 L 就是拍摄全息照片时轮胎到底片的距离。条纹的产生可认为是 A 、 B 状态轮胎“同时”存在所引起的干涉效果。如图 1 所示。



图1 轮胎上任意点 a 在载荷作用下变至 b 点,它们所反射的光波在 c 处发生干涉

轮胎上任意 a 点在载荷作用下变为 b 点,它们所反射的光波在 c 处发生干涉时,应遵守布喇格方程^[3]:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad (1)$$

收稿日期: 1981年1月9日。

式中 d 为条纹间距; λ 为光波波长; θ 为 a 点反射光与 b 点反射光在 c 处的夹角。

设变形矢量 $ab=r$, 过 ab 中点作垂线与干涉面相交于 c 点(如图 1), 则可得:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{r}{2} / 2L = \frac{r}{4L} \quad (2)$$

代入(1)式得:

$$d = \frac{2L\lambda}{r} \quad (3)$$

当变形矢量与干涉面具有夹角 ψ 时, 可得条纹间距与变形量的一般表达式为:

$$d = \frac{2L\lambda}{r} \cos \psi \quad (4)$$

由此可看出, 变形量愈大, 条纹间距愈小, 反之亦然。

若采用抽真空办法给轮胎加载, 抽真空的压力即为加给轮胎的应力, 通常此应力是很小的(小于 0.01 千克/毫米²), 故应力应变之间服从虎克定律:

$$r = k \frac{P}{E} \quad (5)$$

代入(4)式得条纹间距与杨氏模量的关系为:

$$d = \frac{2L\lambda E}{kP} \cos \psi \quad (6)$$

式中 P 为加给轮胎的应力; E 为杨氏模量 k 为一比例系数。可见在其它参量固定时, 条纹间距与杨氏模量具有正比关系。以上分析与实验结果完全一致。图 2 是航空轮胎两次曝光全息再现现象照片, 图中 D 处的条纹特别密, 预示轮胎在该处具有较低的杨氏模量; 当把轮胎切开时, 正好在 D 处发现一个离表面 9.3 毫米的内部脱层, 图 3 是切开后的实物照片。



图 2 航空轮胎两次曝光全息再现现象照片

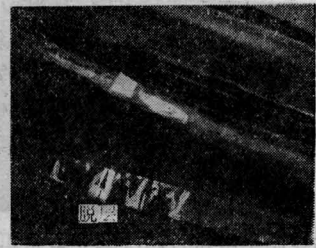


图 3 按图 2 的条纹畸变区切开轮胎后发现一个距表面 9.3 毫米的内部脱层

三、条纹畸变与内部缺陷

由公式(6)看出, 如果轮胎内部结构完好, 杨氏模量无特殊变化, 则条纹将是较均匀的。若胎内 E 值具有突变, 便将引起条纹畸变。如图 4, 设轮胎在 D 处具有内部脱层, 由于脱层内气体的 E 值比橡胶及帘线的 E 值小, 故当轮胎的环境压力变为负值时, 由(5)式可知 D 处的变形量要比其周围部位的变形量大些, 所以该处的条纹要密些。轮胎内部缺陷区与条纹畸变区具有直接对应的关系。

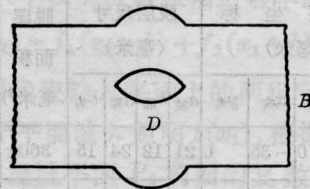
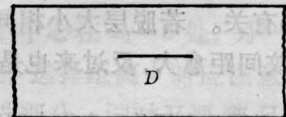


图 4 具有内部脱层 D 的 A 状态轮胎, 在抽空加载作用下变为 B 状态, D 处的膨胀比周围大

图 5 是具有人工缺陷的仿轮胎试片两次曝光全息再现现象照片, 从中可看到四处条纹畸变区, 即 A 、 B 、 C 、 D 各处。经解剖证明在 A 、 B 、 C 、 D 对应的内部均存在脱层。从

四、结论

全息干涉法是一种灵敏、无损、安全、准确的检测方法,它操作简单,结果直观。利用它可检测出波长量级的微小变形;毫米量级的内部脱层可清楚地反映在全息照片上。图6是利用我们研制的S-JQL-1500型激光全息轮胎无损检测仪拍摄到的航空轮胎内部3毫米直径脱层所引起的条纹畸变;图7是该脱层解剖后的实物照片。利用本文导出的一些关系式,可对实验现象进行基本的解析。

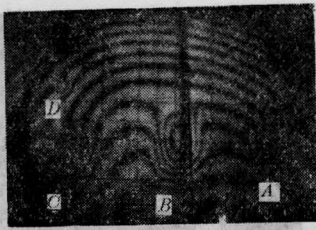


图5 仿轮胎平板试片两次曝光全息再现现象照片

照片与实物测得各脱层的有关参数如表所示。由表看出,除 x 坐标有一反转之外,照片所得脱层的平面坐标与实物完全一致。从照片得到的脱层尺寸小于实际尺寸,这是由于脱层边界处条纹畸变变得不明显的缘故。 x 坐标的反转,是因为反拍是对着虚象进行的原故。缺陷的深度不能从照片中简单地确定。G. M. Brown^[4]曾给出圆形脱层的变形量的计算公式

$$r = KPD^4/EH^3 \quad (7)$$

式中 r 为变形量; P 为加载压力; D 为脱层直径; H 为脱层深度; E 为弹性模量。将(7)代入(4)得:

$$d = 2L\lambda EH^3 \cos \psi / KPD^4 \quad (8)$$

可见条纹间距不但与脱层深度有关,同时也与脱层大小有关。若脱层大小相同,则愈深的脱层,条纹间距愈大,反过来也是如此。

表 从再现现象照片和实物中测得各脱层的有关参数

脱层	脱层坐标 (毫米)				脱层尺寸 (毫米)				脱层面积 (毫米 ²)	脱层深度 (毫米)	条纹间距 (毫米)
	$x_{照}$	$y_{照}$	$x_{实}$	$y_{实}$	$a_{照}$	$b_{照}$	$a_{实}$	$b_{实}$			
A	35	0	-35	0	21	12	24	15	360π	4	很小
B	-15	0	15	0	40	21	43	24	1032π	14	6
C	-83	-11	83	-11	22	15	27	19	513π	11	3
D	-82	27	82	27	8	5	9	6	54π	3	2

说明: $x_{照}$ 、 $y_{照}$ 、 $a_{照}$ 、 $b_{照}$ 是从照片中测得; $x_{实}$ 、 $y_{实}$ 、 $a_{实}$ 、 $b_{实}$ 是从实物中测得

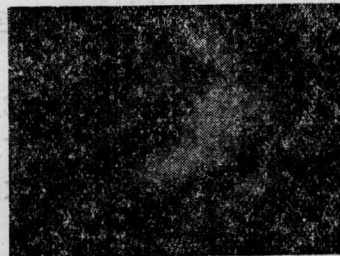


图6 3毫米胎内脱层引起的条纹畸变

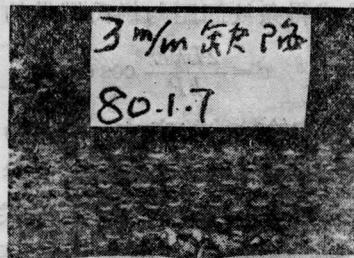


图7 3毫米内部胎层解剖后实物照片

参 考 文 献

- [1] F. Woelf; *Rubber Age*, 1969, **101**, No. 2, 65.
- [2] Ted. R. Zimmerman; Comments Upon the Present and Future of Holographic NDT of Pneumatic Tires, 1979.
- [3] Matt Lehmann; The Engineering Uses of Holography, p. 1~23, Edited by E. R. Robertson & J. M. Harvey, Cambridge University Press, 1970.
- [4] G. M. Brown; Holographic Nodestructive Testing 1974, p. 55~64.