

一种改进的激光反馈干涉测振系统

郭转运 张光寅

(南开大学物理系)

提要: 通过引入匹配透镜而改进了激光反馈干涉测振系统, 使系统能够测量具有粗糙表面的样品以及线度小至微米级的样品。还大大放宽了样品的对准容差约一个量级。

An improved laser feedback interferometer for measurement of vibration

Guo Zhuanyun, Zhang Guangyin

(Department of Physics, Nankai University)

Abstract: A laser feedback interferometer for measurement of vibration has been improved by introduction of a matching lens. This improvement enables the system to measure samples having a rude surface and dimensions of down to micrometer range. With the introduction of matching lens, the collimation tolerance of samples could also be greatly relaxed by an order of magnitude or more.

自从1963年King等^[1]报道He-Ne激光器的反馈干涉现象以来, 它在振动测量及等离子体诊断方面得到了应用^[2~4]。中国计量科学院等单位的同志们在此反馈干涉的基础上, 于1982年研制并鉴定了一种便携式测振仪^[4]。然而, 在上述这些工作中, 激光反馈是借助于平面镜的反射实现的, 利用这种反馈作用做成的干涉系统只适用于测量具有光滑表面的样品的振动。有时也可在粗糙样品上附加一个平面镜来扩展这种方法的适用范围, 但也仅在附加的平面镜对被测样品的振动影响足够小时才能应用。本文的目的在于改进这种激光反馈干涉系统, 使之适用于测量具有不规则表面的物体的振动。

一、加匹配透镜的激光反馈干涉测振系统

一般的被测样品的表面难得是一个很好的光学平面, 多数情况下, 它是某种形式的曲面或是光学粗糙表面。在这种情况下, 样品的表面就难以用作反馈镜面。一种解决办法是在样品表面上粘贴一个反射镜, 这样, 样品振动时, 就带动这个反射镜一起振动, 可以进行测量。不过这种办法有时就行不通, 譬如被测样品较小时, 在它上面附加一个反射镜就会影响它的振动状态, 还有许多情况是被

收稿日期: 1983年10月20日。

测样品不允许或不可能粘贴附加的反射镜。为解决上述问题，我们采用如图 1 那样的实验装置，在镜 2 与被测样品之间加入匹配透镜。激光器输出的高斯光束经匹配透镜 L 后，变换为另一参数值的高斯束，被测样品就放在透镜后高斯束的束腰位置上。若样品③是一个平面镜，则反射光将按原路返回，这就可以大大增强反馈作用。这里所用透镜焦距都较短，聚焦时收敛角较大，从而使得样品的对准容差大大放宽。图 2(a)、(b)表示了这种情况。样品是一个振动的平面镜，匹配透镜焦距 6 毫米，图中 θ 表示样品表面法线与激

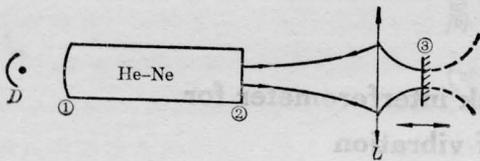
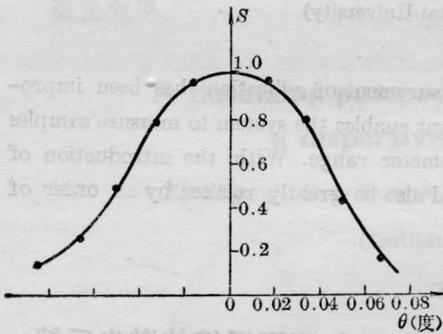
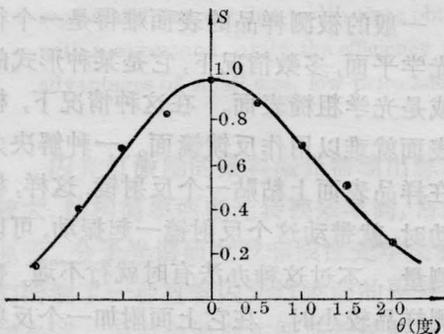


图 1



(a) 加匹配透镜前



(b) 加匹配透镜后

图 2

光器轴线的偏离角，即样品的对准偏差， S 为检测器 D 输出的信号幅度（已归一化）。从图中可见，加了匹配透镜后，对准容差放宽了一个量级以上。

图 3 表示测量有粗糙表面样品时的情况。该粗糙面置于透镜后高斯束的束腰位置上。入射光束实际上只照射样品表面的某个微小区域，在此微小区域内，样品表面起伏比起光波长来说足够小，使得该区域的散射光接近同一的位相。这样一来，散射光经透镜返回激光腔时，它的同相面畸变不大，保持了反馈干涉所要求的相干条件。只要匹配透镜的焦距足够短，反馈强度就会大到使测量能够正常进行。相反，若不加匹配透镜，则样品将有大大得多的面积被照射，被照各点都产生散射光并都对反馈有贡献。这些散射光的相位分散范围也就大，它们综合作用的结果，使得相干条件破坏，反馈作用减弱，结果便观测不到相应的信号。

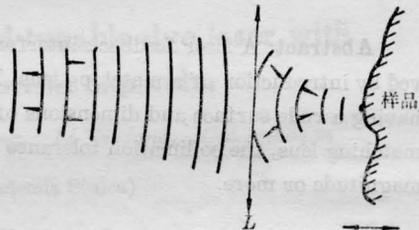


图 3

图 4 表示在有匹配透镜的情况下，一块振动着的陶瓷片（其表面为粗糙面）相应的信号波形。透镜焦距仍为 6 毫米。从图中可以看到，信号波形良好，有足够的信噪比。我们还对其它有粗糙表面的样品，如各种书写白纸、粗加工的金属机件、被折断的陶瓷棒断面以及甚至一团棉花都作过测量，在这个改进过的系统上，都能获得有良好信噪比的信号。

这个改进了的系统还能测量极细的细丝振动。图 5 表示一根直径约 5 微米的纤维，在压电陶瓷的驱动下振动时，从检测器得到

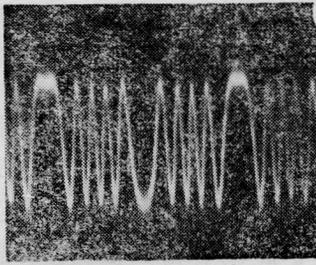


图4 有粗糙表面的陶瓷片
振动时相应的光电信号

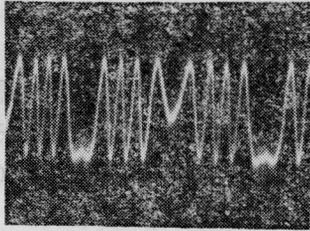


图5 直径5微米的纤微振动时相应的
光电信号(振幅1.2微米)

的信号。这表明,这种装置还可能以很高的分辨率用于细小样品上各点振幅分布的测量。

由于激光振荡建立时间的缘故,用反馈干涉法测振时,对样品的振动速度有一个限制,其上限大约为1米/秒^[3,4]。引入匹配透镜虽能够测量粗糙表面,但对样品的振幅附加了新的限制:从图3看出,由于透镜的聚焦,新的高斯束有较大的发散角和较小的共焦参量 $z_0 \left(= \frac{\pi \omega_0}{\lambda} \right)$ 。样品振动时,随着它偏离束腰位置,样品上的光斑会越来越来,照射到它上面的光与平面波的差别也越来越明显,可以设想,当振幅大到和 z_0 可以比拟时,反馈将显著下降,输出信号减小。在我们的条件下,振幅为30微米时,尚未见到信号有什么下降,若将样品沿轴线位移约200微米时,信号减小到原来的1/5左右。不过100微米左右的振幅上限对许多测量来说,可能已足够应用。若确实要用此法测量更大的振幅,同时样品又是有粗糙表面的,则可换用稍大焦距的透镜。

二、双模工作与测量条件的选择

通常使用的 He-Ne 激光器,大多有较大的腔长,一般都有双纵模或更多的纵模输出。这里仅以双纵模的情况为例来说明激光器的多纵模输出给测量带来的影响以及对测量条件施加的限制。

设激光器的腔长为 l_{12} , 若镜(2)和镜(3)的距离为 l_{23} , 且令

$$l_{23} = m l_{12} / 2 \quad (1)$$

m 大于零,它是描写反馈镜位置的一个参数,则第一个纵模的反馈延迟为 $\phi_1 = 4\pi l_{23} / \lambda_1$ 。考虑到激光器的振荡条件 ϕ_1 又可写成:

$$4\pi n_1 l_{12} / \lambda_1 = 2N\pi \quad (2)$$

$$4\pi n_1 l_{12} / \lambda_2 = 2(N+1)\pi \quad (3)$$

则有

$$\phi_1 = mN\pi / n_1 \quad (4)$$

同样对第二个纵模,反馈延迟为:

$$\phi_2 = m(N+1)\pi / n_2 \quad (5)$$

这里的 N 为正整数, n_1 和 n_2 分别为对应于第一个振荡模波长和第二个振荡模波长的折射率。因为 $n_1 \approx n_2$, 故有

$$\phi_2 = \phi_1 + m\pi \quad (6)$$

由上式可见,反馈镜位置不同(即 m 值不同)则两个纵模反馈延迟的相位差也不同。一种极端情况是 m 为偶数,由(1)式知 $l_{23} = m l_{12} / 2$, 或

$$l_{23} = q l_{12} \quad (7)$$

q 为整数。这意味着反馈镜(或样品)是在距激光器输出窗等于激光器腔长整数倍的位置上,这时,两个纵模的反馈延迟相差 2π 的整数倍。当反馈镜(样品)振动时,两个纵模的反馈增强或反馈减弱是同步的,这是测量系统的最佳工作状态。对测量来说,这时的激光器就好像单纵模工作的激光器一样。实验表明,甚至当系统刚刚开启,激光器存在着纵模漂移的情况下,也不影响测量正常进行。另一种极端情形是 m 为奇数,由(1)式可知,它

(下转第679页)

$F=1.8 \times 10^4$ 瓦/厘米², $t=0.08$ 秒), 可使材料组织的晶粒细化, 均匀性提高, 因而可提高材料的抗疲劳性能。

2. 实验结果表明, 在一定的激光热处理规范下疲劳裂纹扩展循环数 N 与激光辐射的功率密度和照射时间的平方根之积成正比, 其近似估计式为:

$$N = -4893.6 + 1.3765F\sqrt{t}。$$

3. 激光辐射可产生残余压应力, 这对改善裂纹尖端的应力分布, 使裂纹尖端区的应力松弛以及提高材料的疲劳寿命有利。

4. 在激光处理 25CrMnSi 这类低合金钢中, 采用高激光功率密度, 两次重复快速扫描(先慢后快)时, 在淬火区下层会形成回火软带区, 该区出现组织粗化, 硬度值下降到比基体还低。而在低激光功率密度, 先快后慢的两次重复扫描中或单次激光扫描则不出现明显(或较窄)的回火软带。

5. 激光处理之前, 有必要对试件进行黑化预处理, 以增加对 CO₂ 激光的吸收率。实验中发现采用磷化处理的效果比涂碳素墨水显著。

本试验在微观分析中得到了马咸尧、曹治蓉、李志远、奚素碧等同志的热情帮助, 在力学试验研究过程中, 还得到了李灏教授的指导与支持, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. Mazumder; *J. Metals*, 1983, **35**, No. 5, 18226.
- [2] 李昌华;《金属热处理》, 1982, No. 6, 20~26.
- [3] 川澄博通;《机械与工具》, 1979, **23**, No. 2, 101~107; No. 3, 115~124.
- [4] V. Gregson;“Laser Heat Treatment”, Paper No. 15, in Proc. Ins. Joint US/Japan Int. Laser Processing Conf., Laser Institute of America Toledo, Ohio, 1981.
- [5] C. Wick; *Manufacturing Engineering*, 1976, **76**, No. 6, 35~37.

(上接第 685 页)

对应于样品距激光器输出窗为激光器半腔长奇数倍的情况, 这时两个纵模的反馈延迟相

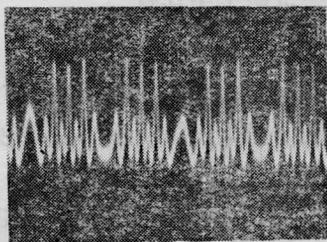


图 6

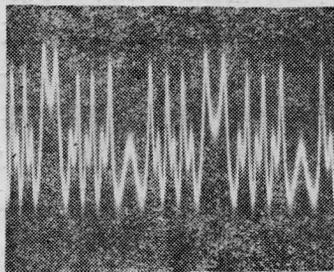


图 7

差 π 的奇数倍, 在这种情况下, 当一个纵模反馈增强时, 另一个反馈减弱。样品振动时, 检测器的输出波形与两个模的相对强度有关。当激光器有模漂移时, 信号的波形是不稳定的, 若两个纵模强度相等, 则检测器的光电信号的波形严重失真, 幅度也大大减小。图 6 和图 7 表示出这种两个模的增强与减弱不同步时, 检测器输出的信号波形。显然, 测量不宜在这种条件下进行。

参 考 文 献

- [1] P. G. R. King *et al.*; *New Scientist*, 1963, **17**, 180.
- [2] D. E. T. F. Ashby, D. F. Jephcott; *Appl. Phys.*, 1963, **3**, 13.
- [3] D. M. Clunie, N. H. Rock; *J. Sci. Instrum.*, 1964, **41**, 489.
- [4] 中国计量科学研究院等;“反馈调制激光测振仪的研制及现场测试方法的研究”, 1981 年 11 月。