

光纤探针式轮廓仪的理论实验研究

孙俊卿* 裘道源

(中国民用航空学院机电学院 天津 300300)

【摘要】在单根单模光纤作为发射光纤兼接收光纤的情况下，提出了光纤探针式轮廓仪，得到一个光纤探针来测量被测表面的微观轮廓曲线，并由轮廓曲线得到了表面粗糙度的各种参数和光纤探针的形状和尺寸。同时阐述了利用光纤探针测量表面轮廓和粗糙度的原理及光纤探针式轮廓仪的构成和工作原理，给出了测量结果。

关键词 粗糙度； 光纤探针； 轮廓仪； 非接触测量

中图分类号 TP212.14； TH74 文献标识码 A

Theory and Experiment of Optical Fiber Probe Profilometer

Sun Junqing Qiu Daoyuan

(College of Mechanics and Electricity Engineering, Civil Aviation University of China Tianjin 300300)

Abstract In order to form an optical fiber probe, the optical fiber probe profilometer uses a singular single_mode optical fiber as the detector for transmitting and receiving light. This optical fiber probe can be used to measure the profiles and roughness of the measured surface were. In this paper, the shape and size are calculated and analyzed, the principles of measuring profile and roughness of the measured surface discussed, the construction and operating principle of the optical fiber probe profilometer detailed. In the end, the measurement results are presented .

Key words roughness; optical fiber probe; profilometer; uncontact_measurement

利用触针式轮廓仪测量表面粗糙度，具有测量精度高、能给出表面轮廓的优点。目前，触针式轮廓仪仍然是工业生产中零件表面质量评定的主要仪器之一。但触针式轮廓仪属于接触测量，它是用一根很尖的钢制触针(圆角半径为几微米)来感触被测表面的轮廓，存在容易划伤被测表面、测量效率低的缺点。

利用光纤传感技术测量表面粗糙度的测量原理和装置在国内许多文献中已有报道^[1-5]。这些传感器多是利用一束光纤将发射光照射在工件表面上，由另一束光纤接收被测表面反射回来的光的方法测量表面粗糙度。尽管这种方法可以实现表面粗糙度的非接触测量，但不能测量被测表面的轮廓，只能统计地给出表面粗糙度的 R_a 和 R_q 值。

本文介绍的光纤探针式轮廓仪是利用单根单模光纤进行光的发射和接收，理论分析表明，光纤与被测件的耦合区的半径仅为 $3.5\ \mu\text{m}$ ，光纤相当于一个半径为 $3.5\ \mu\text{m}$ 的光纤探针。当光纤探针距离被测表面 $2\ \mu\text{m}$ 时，接收到的光强和探针与被测件的距离成反比。因此，当光纤探针沿被测工件表面移动时，可测量出工件的表面轮廓，从而计算出表面粗糙度的各种评定参数。

1 测量原理

1.1 光纤探针的形状和尺寸

光纤探针尺寸和形状的镜像法分析如图1所示，利用图1求光纤与被测表面上偏离光纤轴线 d 的点 P 之间

2002年8月28日收稿

* 女 39岁 硕士 讲师 主要从事光纤传感技术和微波技术等方面的研究

的耦合效率。光经光纤 F 垂直照射在被测表面上,假设被测表面是理想金属表面。利用镜像法求得单模光纤的耦合效率为^[6]:

$$h = \frac{\exp[-(2d/w)^2]}{1+S^2} \quad (1)$$

式中

$$S = \frac{Iz}{\pi n_2 w^2} \quad (2)$$

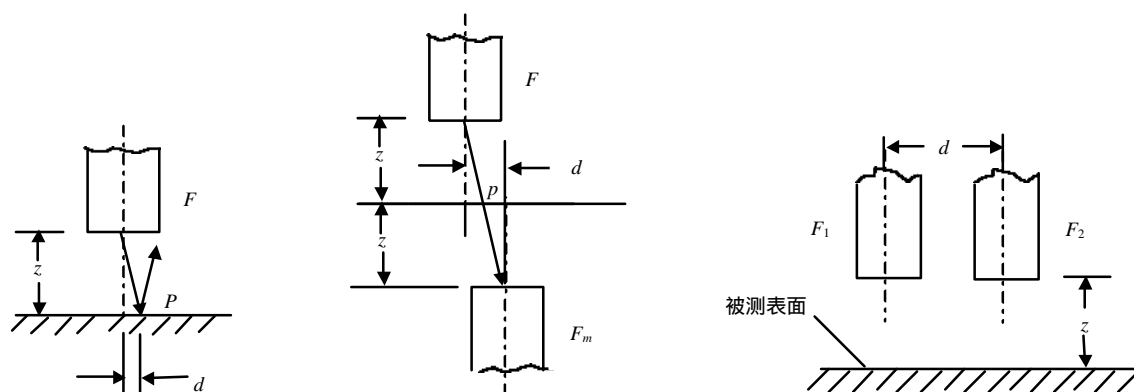
w 为光斑尺寸; I 为光波波长; z 为光纤至被测表面的距离; n_2 为光纤包层折射率。

将集中光功率80%的区域作为探针的尺寸,通过下列积分可求得光纤探针的半径 r_0 。

$$\frac{\int_{-r_0}^{r_0} \exp[-(2x/w)^2] du}{\int_{-\infty}^{\infty} \exp[-(2x/w)^2] du} = 0.800 \quad (3)$$

本例中, $I = 1.300 \mu\text{m}$;光纤为单模光纤; $w = 9.000 \mu\text{m}$; $n_2 = 1.330$ 。由式(3)计算得

$$r_0 = 3.500 \mu\text{m} \quad (4)$$



(a) 被测表面上任意一点P的反射 (b) 有横向位移的光纤镜像耦合

图1 光纤探针尺寸和形状的镜像法分析

图2 接收光纤与参考光纤接收的光强之比的计算模型

从式(4)得到光纤探针为极细的圆柱形。因此,在测量过程中,不需要采用任何聚焦措施,就可得到极其纤细的光束,为实现表面轮廓的测量提供了可能。

1.2 利用光纤探针测量表面轮廓的原理

为了消除被测材料特性对测量结果的影响,在图2中引入一路参考信号,其中,光纤 F_1 为发射兼接收光纤, F_2 仅接收反射光。假设两根光纤完全相同,则 F_1 接收到的反射光与 F_2 接收的反射光之比为^[7]

$$h_s = \frac{(a + z \operatorname{tg} q)^2}{a[1 + (Iz/\pi n_2 w^2)][a + z \operatorname{tg} q - (d/2)]} \quad (5)$$

式中 $q = \sin^{-1} NA$ 为光纤照角; NA 为光纤的数字孔径; a 为光纤的半径。本例中, $a = 4.500 \mu\text{m}$; $NA = 0.070$; $I = 1.300 \mu\text{m}$, $w = 9.000 \mu\text{m}$; $n_2 = 1.330$ 。由式(5)计算得

$$h_s = \frac{3.410(4.500 + 0.065z)^2}{z(1 + 1.440 \times 10^{-5} z^2)} \quad 0 \leq z \leq 60 \mu\text{m} \quad (6)$$

光纤探针沿被测表面的扫描如图3所示,由式(6)可知,光纤探针距离被测表面越近,接收光纤与参考光纤接收的光强之比 h_s 越大;反之, h_s 越小。因此,当光纤探针沿被测表面移动时,通过测量接收光纤与参考光纤接收的光强之比 h_s ,即可测量出光纤探针距被测表面的距离,从而测出被测表面的轮廓。实验发现,当 $0 \leq z \leq 4 \mu\text{m}$ 时, h_s 与 z 呈线性关系。在测试过程中,保持光纤探针与被测表面之间的距离为 $2 \mu\text{m}$,

以获得最大的线性范围。

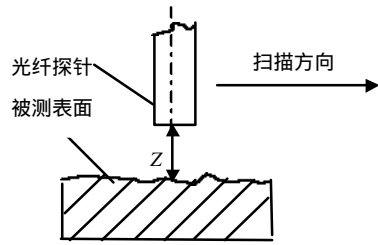


图3 光纤探针沿被测表面的扫描

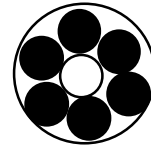


图4 光纤传感器探头的结构

2 光纤传感器探头的结构设计

光纤传感器探头结构如图4所示。它由七根光纤构成，七根光纤排列成梅花形，中间一根为入射光纤同时兼作粗糙度信号接收光纤，周围六根作为参考信号接收光纤用。来自光源的光经中间一根光纤垂直照射在被测表面上，光经被测表面的反射光由中间一根光纤接收，经方向耦合器后与其他六根光纤接收到的散射光进行信号处理，测量出被测表面的轮廓和粗糙度。

3 光纤探针式轮廓仪的构成及工作原理

光纤探针式轮廓仪的构成如图5所示，其工作原理为：光源发出的光经方向耦合器的直通端垂直照射在被测表面上，被测表面反射光的一部分沿入射光纤返回，经方向耦合器的耦合端和光电探测器PIN转换为测量信号 V_S ，而另一部分由探头上的参考光纤接收，经PIN转换成参考信号， V_S 和 V_R 是与被测表面微观轮廓有关的量，经过放大、滤波和A/D转换，由计算机给出被测件的表面轮廓曲线和粗糙度参数。

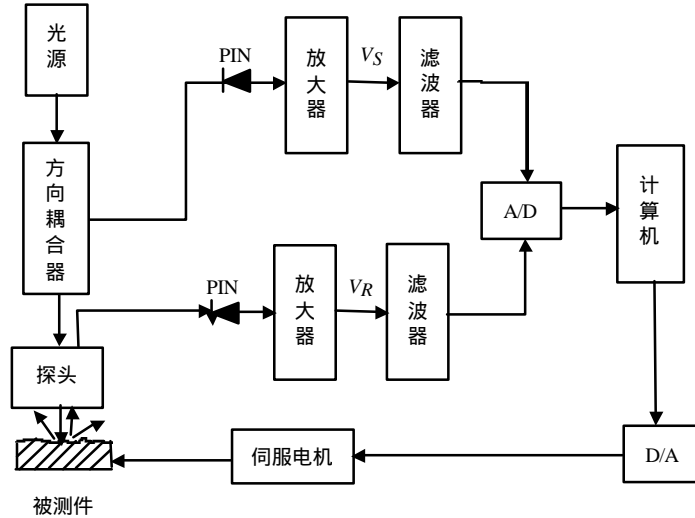


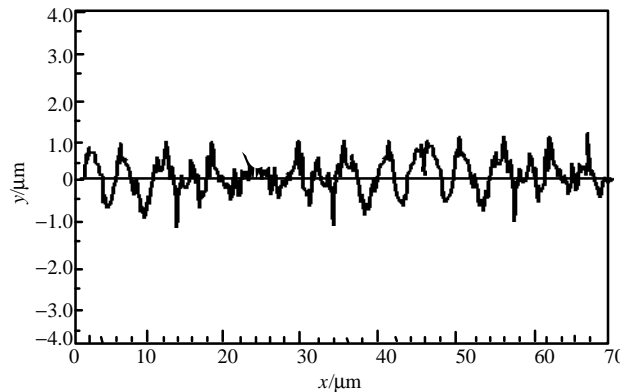
图5 光纤探针式轮廓仪器的构成

4 测量结果

利用图5所示装置，对 ∇_6 、 ∇_7 、 ∇_8 和 ∇_9 的粗糙度标准样块进行了测量，表面粗糙度参数如表1所示。 ∇_8 的粗糙度标准样块的表面轮廓曲线如图6所示。

表1 表面粗糙度参数

粗糙度样块	$Ra/\mu\text{m}$	$Ry/\mu\text{m}$	$Rz/\mu\text{m}$	$Sm/\mu\text{m}$	$S/\mu\text{m}$
∇_6 (平磨)	2.78	12.10	11.80	98	92
∇_7 (平磨)	1.32	7.68	6.63	142	68
∇_8 (平磨)	0.92	5.50	4.90	81	18
∇_9 (平磨)	0.29	3.16	2.61	17	9

图6 粗糙度标准样块为 ∇_8 的表面轮廓曲线

6 结束语

本文分析了利用光纤探针式轮廓仪测量表面粗糙度的工作原理,给出了仪器的组成。这种仪器不仅可以克服触针式轮廓仪容易划伤被测表面的缺点,而且具有能够测量表面轮廓和表面粗糙度的各个参数的优点。因此具有很高的研究价值和广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 周 毅, 宴克俊, 林 盘. 光纤传感器测量表面粗糙度[J]. 石油仪器, 2000, 14(6): 42-44
- 2 包学诚, 陈雅贞, 海 啸. 光纤表面粗糙度比较测量仪的研制[J]. 仪器仪表学报, 1999, 10(1): 72-74
- 3 马裕民. 反射漫射神比光纤传感器[J]. 仪表技术与传感器, 1999, 4(1): 11-12
- 4 王廷津, 徐建强, 史 伟, 等. 用于测量表面粗糙度的漫射反射比光纤传感器[J]. 仪器仪表学报, 1997, 18(5): 505-508
- 5 宋 刚, 胡德金. 涉法激光—光纤表面粗糙度传感器设计[J]. 仪表技术与传感器, 2000, 4(8): 4-20
- 6 鲍振武, 孙俊卿. 光纤探针粗糙度测量原理的探讨[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 1995, 8(6): 7-10
- 7 鲍振武, 苏寒松. 粗糙度光线传感器的理论与实验[J]. 电子测量与仪器学报, 1994, 8(1): 7-14

编 辑 漆 蓉

· 成果与专利 ·

高频率稳定度功率合成器

高频率稳定度功率合成器是属于微波、毫米波领域中的非谐振功率合成技术。它是在一个环形器的输入端口接入一个被合成源,输出端口接H面T型结头,在该结头的第二个端口接可调短路活塞、或高 Q 稳频腔。该功率合成器具有频率稳定度高、功率稳定度高、合成效率高、调试方便等优点。它能单独使用,也能作为多级功率合成器的第一级,因此适用面也广。

· 文 争 ·