

激光测量表面光洁度

天津动力机厂检验科计量室

天津南开大学物理系光学专业

目前,随着激光技术在计量领域里的广泛应用,激光检测表面光洁度这个新的课题也已经从生产实践的需要中提出来了。我们在一九七五年开始了激光测表面光洁度的试验,不久又组成了以工人、工农兵学员为主体的三结合小组,进一步进行了试验。激光测表面光洁度具有简单、测量速度快、易于掌握、不接触和应用范围较广等优点。现将情况简单介绍如下。

一、过去表面光洁度的测量方法不能适应生产发展的需要

表面光洁度是对零件加工表面所具有的微小间距和微小峰谷不平度以及微观几何尺寸特性的综合评价。工件在机械加工过程中,由于机械的振动,刀具行走或切削、研磨都会使加工部件留下不同形式的深浅不一的凸峰凹谷的微小痕迹。实践证明,表面光洁度对机械零件在使用中的主要性能和使用质量都有很大的影响。

根据光洁度的定义(按我国光洁度定级标准 R_z 值),从 $\nabla 1$ — $\nabla 14$ 级的光洁度的平均高度值是在 3×10^2 — 1×10^{-2} 微米的范围内。对于高级别的光洁度测量,需要使用精密的仪器,过去常使用光切法、电感触针法、干涉显微镜法等进行测量。这些方法虽有不同的好处,但也各有其缺点,如价格较贵、易损、难调、应用范围小等,不适宜于车间使用和大批测量。对一些大型工件或异型表面也不能测量,有些工件只能靠经验来判断,有些要破坏工件进行抽检测量。因此,过去的光洁度检测工作远远跟不上生产发展的需要。

二、激光测量表面光洁度的简单原理

激光因亮度高,方向性好,相干性好,用于检测光洁度有很多优点,可以与过去的测试仪器配合使用,弥补通常的测试仪器不足。可以在车间进行快速测量,也可以对大型工件和异型表面进行测量。

机加工的金属表面上有很多的刀具形成的峰谷形式的痕迹。对于一般的加工表面,这些痕迹都是近似平行的沟槽。我们可以把这些痕迹看成是由许多接近

正弦形式的波纹所组成,这些正弦形的波纹有不同的振幅和空间频率,它们各自的作用象是一个正弦光栅。由于它们的振幅和空间频率互不相同,因而他们的综合作用象是一个乱光栅。

当激光束射到金属表面上时,光就被上述的乱光栅所衍射。其中一部分光被衍射到零级对应于镜面反射,而另一部分光被衍射到 ± 1 级或更高的衍射级,这些衍射光一般叫做散射光。各级衍射光束的位置由光栅方程所确定,而各衍射级的强度与光栅(波纹)的深度有关。随着表面光洁度级别的增高,表面波纹的深度越小,因而衍射光就变弱,反射光逐渐变强。

可以用一个屏幕观察金属表面的反射光和散射光。一个是镜面反射形成的反射光斑,另外在镜面反射光斑两侧的由许多小的光斑组成的散射光带,如图 1 所示。我们把反射光斑和散射光带统称为图谱。

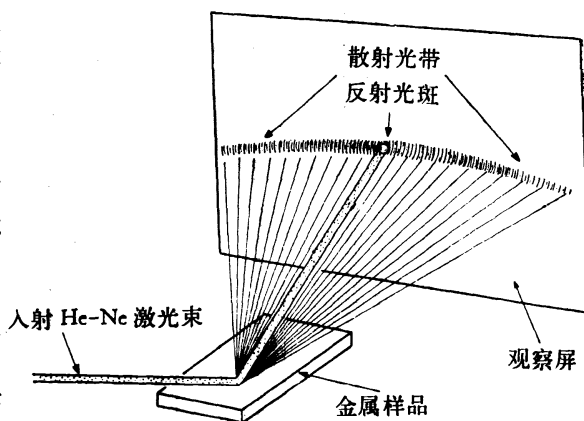


图 1 激光束射到金属表面时形成的反射光斑和散射光带

通过观察发现图谱有以下规律:

1. 当入射面垂直于加工痕迹时,光带近似为直线,当入射面平行于加工痕迹时,光带呈现为弧形。
2. $\nabla 10$ — $\nabla 14$ 级的金属表面。随着光洁度级别的增高,反射光斑越来越强,而散射光带越来越弱,光带的宽度也随着变窄。 $\nabla 10$ 的金属表面,刚刚能看到反射光斑,对于相邻的光洁度级别;它们对应的图谱有明显的区别,图 2 表示了不同的光洁度样品所对应的图谱。

3. $\nabla 9$ 级以下的金属表面。从 $\nabla 9$ 级开始, 镜面反射光点已经消失, 只有形状类似的一条散光带。级别较高时, 散光带中间部分较亮, 随着级别的降低, 散光带的中间部分与两边的亮度之比也逐渐减小, 光带宽度也逐渐增加。总之, 在 $\nabla 9$ 级以下时, 各级之间的图谱的差别不太明显。

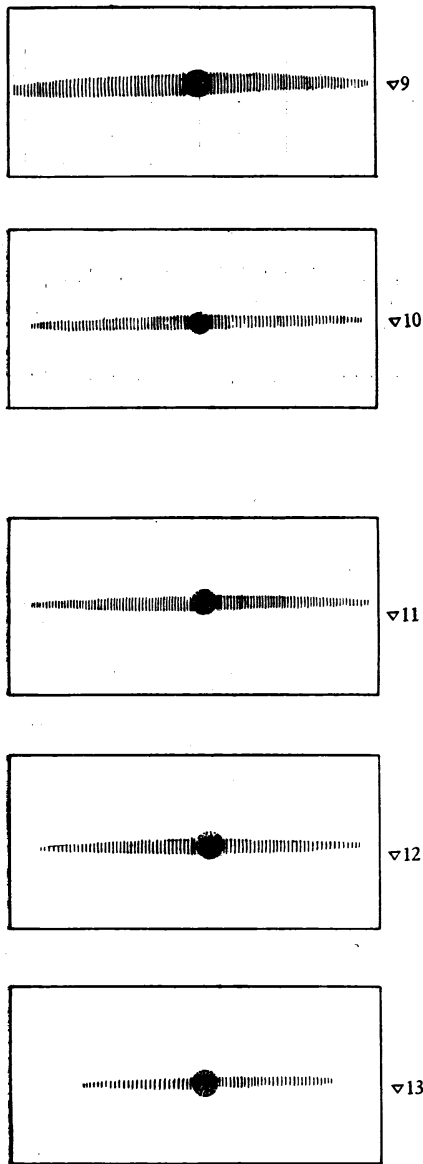


图2 不同级别表面光洁度的对应图谱

根据金属表面的各种光洁度级别与对应的图谱的规律, 可以得出两种测量光洁度级别的方法。一是观察图谱法: 把图谱显示在白纸上, 用眼睛观察, 因为各级之间的图谱有明显的差别, 只要和标准样块比较, 就很容易分辨出光洁度的级别。即使不熟悉的人也很容易掌握。另一种方法是采用光电接收器分别接收反

射光强和散射光强, 然后与标准样块测量的数值相比即可定出光洁度的级别。下面介绍这种测量方法。

采用光电接收器测量光洁度的装置示意图如图3所示。

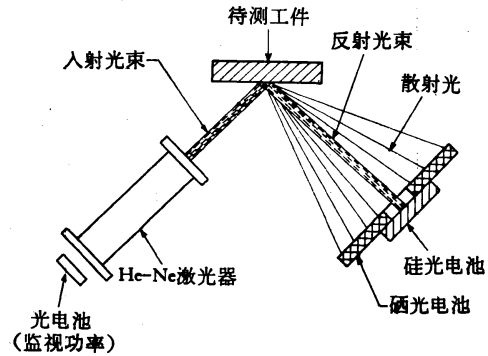


图3 光电接收装置示意图

光源采用波长为 0.6328 微米的内腔氦氖激光器, 输出功率 1 毫瓦以上, 要求输出功率稳定。反射光和散射光分别由硅光电池和硒光电池接收。光电池的排列位置如图3所示。硒光电池中心打一圆孔(孔径约 3 毫米), 反射光通过这个孔射到硅光电池上。光电流由微安表显示。另外在激光器的全反射镜一端安放一块硅光电池, 接收透出的一部分激光束, 用来监视功率的变化。除待测工件外, 其它部件都装在一个箱体, 并消除外界杂散光和激光器放电辉光对接收器的影响, 以免影响测量结果。

因为这种方法属于比较测量, 所以需要标准样块进行标定级别。在定级和测量中都必须利用固定的激光功率, 固定的光电接收器以及固定的人射角和接收器的面积。

在一般情况下, 只用反射光强度的变化就能确定光洁度的级别。但是, 最好是用反射光强 a 与散射光强 b 的比值来标定光洁度的级别较好。因为激光功率会有些变化, 其功率虽然可以调整, 但有时功率漂移太大, 调整不到标定级别时的数值。使用比值 a/b 可以消除功率变化的影响(在一定的功率变化范围内)。另外利用比值也可以消除因为表面的状态不一样(如因加工条件不一样, 表面发亮的程度不一样)而造成的反射光强和散射光强都下降的影响。比值可以用两个微安表读数相除, 也可以利用除法电路直接表头给出比值。

表1给出八个不同级别的光洁度样块的测量结果。表2给出用干涉显微镜测量的结果。由表中给出的数据可以看出, 各个级别的差值还是很大的, 可以容易地分辨出一大级中的各个小级。在表中, 对于一个样品的三次测量的差别是由于激光功率的变化和测量部位不同造成的。

表1 八个不同级别的光洁度样块的测量结果

序号	光点强度 a (μA)				光带强度 b (μA)				a/b			
	一	二	三	平均	一	二	三	平均	一	二	三	平均
1	420	420	449	430	2.5	2.4	2.3	2.4	168	175	195.2	179.4
2	405	441	425	425	3	3	3	3	135	147	141.6	141.2
3	405	433	445	428	4.9	2.8	4	3.9	82.6	155	111.2	116.9
4	450	450	468	456	5.2	4.8	5	5.0	86.5	93.7	93.6	91.3
5	395	403	432	410	13.6	12.2	12.5	12.8	29.0	33	34.5	32.2
6	308	308	330	315	20	21.4	20.9	20.8	15.4	14.4	15.8	15.2
7	103	261	175	180	24.3	28.6	29	27.3	6.7	9.1	6	7.3
8	32	30	38	33	33	34.9	36	34.8	0.94	0.86	1.05	0.95

表2 干涉显微镜的测量结果

次 序 号	1	2	3	4	5
1		$\nabla 13_a$	$\nabla 12_c$	$\nabla 12_c$	$\nabla 12_c$
2	$\nabla 13_b$	$\nabla 13_a$	$\nabla 12_b$	$\nabla 12_c$	$\nabla 12_c$
3	$\nabla 13_a$	$\nabla 12_c$	$\nabla 12_a$	$\nabla 12_a$	
4	$\nabla 12_b$				
5	$\nabla 11_c$				
6	$\nabla 11_b$				
7	$\nabla 11_a$				
8	$\nabla 9_a$				

利用干涉显微镜和轮廓仪对这八个样品进行了测量。对于高于 $\nabla 12$ 级的样品，因为测量误差比较大，所以表中给出的级别是在四个单位进行测量的结果。 $\nabla 12$ 级以下，测量误差不大。

注意测量工件的表面必须擦洗干净，否则影响测量结果。

这种测量方法，除了适用于平面测量以外，还可以应用测量外圆，内孔和异型曲面和大型工件的光洁度，而不必破坏工件。对这些工件进行测量时，需要根据工件的形状安排测量的光路和接收器的位置。圆形表面的图谱与平面不同。在表面的曲率半径较小时，反射光斑变成反射光带，散射光带的宽度也被展宽。如图4所示。这时测量反射光强度仅能取反射光带中的一部分反射光。也可以在光路中添加透镜使反射光带

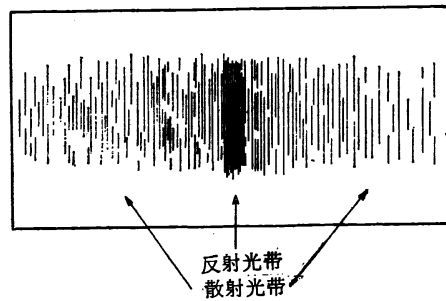


图4 圆形表面的图谱

会聚成为反射光斑。

这种方法也可以推广应用于抛光表面的光洁度的测量。

激光测量光洁度的工作还刚刚开始，天津市的几个工厂作了试验，初步证明这种方法有它的特殊优点，可以解决生产实际中的一些问题。

同任何测试方法一样，这种测量方法也有它自己的缺点，主要是不能单独定值，只能作比较测量。根据有关资料报道可以利用衍射理论，傅里叶变换公式和与表面光洁度有关的相关函数可以由衍射光强度的测量直接确定表面光洁度的级别，但测量和计算较麻烦。目前的激光测光洁度的方法仅适用于 $\nabla 9$ — $\nabla 14$ 级的光洁度级别，因此，激光测量光洁度的方法还有待于进一步研究和改进。

(上接 341 页)

P. and Rockwood, S. D., *Appl. Phys. Lett.*, **27-2** (1975), 87—89.
 [13] Bloembergen, N., *Opt. Commun.*, **15-3** (1975), 416—418.
 [14] Allen, J. E. Keefer, Jr, D. R. and Person, W. B., *Appl. Phys. Lett.*, **27-8** (1975), 474—475.
 [15] Акулин, В. М. Алимбиев, С. С. Карлов, Н. В.

Карлов, Н. А. Петров, Ю. Н. Прохоров, А. М. Шелепин, Л. А., *Письма в ЖЭТФ*, **22-2**. (1975), 100—102.
 [16] P. Horwity, Report from Megeve, *Laser Focus*, (1975), 32—35.
 [17] Акулин, В. М. Алимбиев, С. С. Карлов, Н. В. Шелепин, Л.А., *Ж. Э. Т. Ф.*, **69-3** (9) (1975), 831—841.