

浮法抛光原理装置及初步实验

高宏刚 曹健林 陈 斌 马月英 张俊平 王占山 陈星旦

(中国科学院长春光学精密精密机械研究所, 应用光学国家重点实验室, 长春 130021)

摘要 浮法抛光是当前超光滑表面高效加工技术之一。本文介绍了浮法抛光原理装置及初步实验结果。利用这项技术对 $\phi 30$ 的K9玻璃样片进行实验, 经过2~4小时的抛光后, 表面粗糙度值优于 1nmRa 。

关键词: 浮法抛光; 超光滑表面; 超精加工

1 引言

光学和光电子学的发展, 尤其是短波段光学, 对所使用的元件或基板提出了表面粗糙度低于 1nmRa 的超光滑要求。超光滑表面加工技术就是为满足这一要求而发展起来的一种先进抛光技术。七十年代末在日本兴起一种被称为浮法抛光(Float Polishing)^[1]的高效超光滑表面加工技术, 其加工表面粗糙度可达 0.08nm rms ^[2]。这项技术主要特点为采用金属锡作为抛光磨盘材料, 抛光过程中磨盘和工件浸没在抛光液中。

长春光机所应用光学国家重点实验室在短波段光学的带动下, 从1992年开始研究浮法抛光技术。我们首先在常规动摆式抛光机上进行了锡研磨盘实验^[3]。1993年下半年, 我们研制了浮法抛光原理样机; 按磨料进给方式不同进行了湿式抛光、磨膏抛光、液中浮法抛光等实验, 并使用了 SiO_2 微粉、 SiO_2 胶体、 CeO_2 微粉、金刚石磨膏等不同粒度的多种磨料。目前对K9玻璃样片的实验结果表明, 在同等条件下采用浮法抛光可得到较光滑的表面; 选定的抛光条件为: 抛光液浓度 $\sim 2\%$, $\text{pH}=7\sim 9$, 锡磨盘表面温度 $21^\circ\text{C}\sim 24^\circ\text{C}$, 磨料粒度 $< 1\mu\text{m}$ 。在这种条件下我们得到了表面粗糙度 $< 1\text{nm Ra}$, 重复性较高的光滑表面。表面粗糙度用触针式Talystep台阶仪测量, 纵向分辨率为 0.5nm 。

2 抛光设备及抛光过程

浮法抛光原理样机为自行研制的FPJ-1型抛光机, 如图1所示。该机有一手动丝杠带动工件轴在导轨上运动, 使工件可以放在磨盘表面的任何部位, 以获得最佳抛光效果。导轨直线度为 $4\mu\text{m}$ 。工件粘在专用钢盘上, 可以由电机直接驱动, 也可以随磨盘旋转而转动。磨盘

材料为金属锡，锡盘表面车有同心圆槽，槽脊上车有精细螺线；锡盘粘在花岗岩或不锈钢基板上，与主轴固连。主轴使用了高回转精度的C级轴承，磨盘边缘的轴向端跳 $<0.01\text{mm}$ 。主轴由 1.5kW 的调速电机驱动；电机与主轴间用皮带传动，以消除电机振动对主轴的影响。磨盘套有可拆换的液框，用于进行液中浮法抛光时与磨盘一起构成盛液容器。

目前进行实验的样片为 $\varphi 30\text{mm} \times 4.6\text{mm}$ Kg 玻璃材料。在进行液中浮法抛光之前要进行预抛光。预抛光是按普通光学加工方法进行的，目的在于消除玻璃表面的碎斑和较深破坏层。在铸铁盘上用粒度依次降低的SiC粉精磨样片，再用沥青抛光模进行抛光，当样片面形达到 2λ ($\lambda=0.6\mu\text{m}$)时结束预抛光，此时其表面粗糙度约为 5nm Ra 。将沥青抛光后的工件样片粘在玻璃垫板上作为工件盘，每次粘三片，间隔 120° 分布。用W1.5金刚石磨膏在锡盘上研磨样片，目的是进一步去除玻璃表面破坏层，同时也使三块样片的待加工面在同一平面上。此时样片表面粗糙度为 $2\sim 3\text{nm Ra}$ 。

液中浮法抛光是将样片表面进行超光滑处理的最后环节。将粒度为 7nm 的 SiO_2 微粉与去离子水混合成浓度 $\sim 2\%$ 的抛光液，注入液框中；抛光液应浸没锡盘，并使主轴工作时抛光液的凹液面在锡磨盘上。这样抛光 $2\sim 4\text{h}$ 后，便可得到表面粗糙度 $<1\text{nm Ra}$ 的光滑表面。

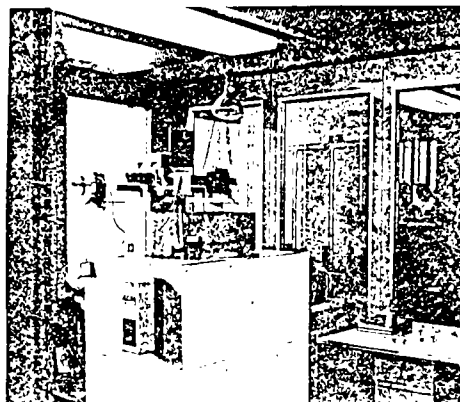


图1 FPJ-1型浮法抛光原理装置

3 锡磨盘表面构造及超光滑表面的形成

锡磨盘是影响超光滑表面质量的重要因素之一。在实验中，锡盘用纯度为 99.9% 的纯锡制成，其表面同心圆槽槽宽为 4mm ，间距 6mm ，深 1mm 精细螺线由钻石车刀车出，刀尖半径为 0.8mm ，如图2所示。

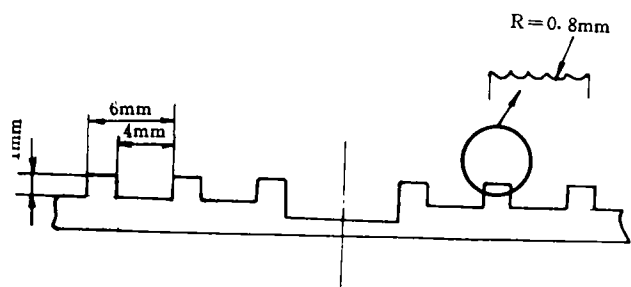


图2 锡磨盘表面沟槽构造

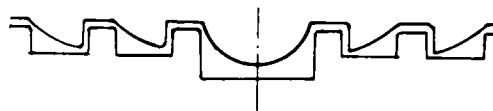


图3 工作状态下液体在沟槽内的运动

锡磨盘表面的沟槽构造是加工超光滑表面的关键。粗略地讲，在浮法抛光过程中，锡盘表面及沟槽内的液体受离心力作用沿径向运动，同时受到其外环槽壁的阻挡，如图3。液体在

槽壁处挤压隆起,产生一向上的力,对在锡盘上旋转的工件起支撑作用,使工件不能与锡盘直接接触,其间有一薄层液膜。抛光液中的磨料微粒被水膜包裹,与液体一起做离心运动。在工件与锡盘间的液膜内,磨料微粒在离心力作用下不断沿径向碰撞工件表面的微观隆起,从而使微观不平部分以分子或原子量级被去除。精细螺线不仅提供了产生液膜的机会,而且软化了锡盘表面。锡的硬度比沥青大许多,足以碰划伤工件样片表面。工作时工件与锡盘不可能完全平行,并且由于振动等原因实际上经常相互碰撞。宽度极小的精细螺线使每次碰撞都不足以损伤工件样片。在整个工作过程中,只有工件表面微隆起被去除而不存在其表面产生破坏层的可能,这样超光滑表面就形成了。

4 表面粗糙度测量

超光滑表面加工技术研究最关心的是加工表面的粗糙度值。我们的测量是在触针式轮廓仪 Talystep^[4]上进行的,其纵向和横向放大倍数分别可达 1×10^6 和 2×10^3 。

表面粗糙度检测结果与触针尖半径、触针扫描速度和仪器滤波器的选择有关。针尖半径决定了触针可分辨的最小空间波长,该波长 λ_c 由公式 $\lambda_c = 2\pi hr$ ^[5] 决定,其中 h 为按正弦曲线形状起伏的表面幅度, r 为针尖半径。对同一表面而言,针尖越细,可分辨的空间波长越小,测量结果越接近于真实表面。仪器本身可分辨的被测表面的空间宽度 dc (截取波长),与其横向扫描速度及滤波方式有关: $dc = v/f$, v 为扫描速度, f 为滤波频率。在一定滤波状态下扫描速度越小,截取波长越小。Talystep 最小扫描速度为 $2.5 \mu\text{m/s}$,此时若选择低通滤波频率 25Hz ,则截取波长为 $0.1 \mu\text{m}$,即仪器只记录空间宽度大于 $0.1 \mu\text{m}$ 的微观不平度。若选择频率为 0.33Hz 的高通滤波器,则仪器只记录间隔小于 $7.56 \mu\text{m}$ 的微观不平度,此时可消除被测表面面形和波纹度对粗糙度结果的影响。

图 4 用 Talystep 检测经过浮法抛光的样片表面;横向、纵向放大率分别为 2×10^3 和 1×10^6 。图中纵向 $2\text{nm}/\text{格}$ 。(a) 为样片中央一点采用 25Hz 低通滤波时的结果;(b) 为同一点采用 0.33Hz 高通滤波时的结果;(c)、(d) 分别为采用 0.33Hz 高通滤波时样片边缘两点的测试结果;(e) 为仪器噪声。

在对浮法抛光实验获得的超光滑表面进行测量时,综合考虑了针尖半径决定的横向可分辨空间波长和仪器滤波器决定的截取波长,选择截面尺寸为 $0.1 \mu\text{m} \times 2.4 \mu\text{m}$ 的针尖;据扫描方向可认为该针尖相当于 $R = 0.1 \mu\text{m}$ 的圆弧针尖,对幅高为 1nm 的超光滑表面测量时可分辨空间波长 $\lambda_c = 0.0628 \mu\text{m}$ 。选择 2×10^3 倍横向放大倍数和 0.33Hz 的高通滤波。图 4 为用

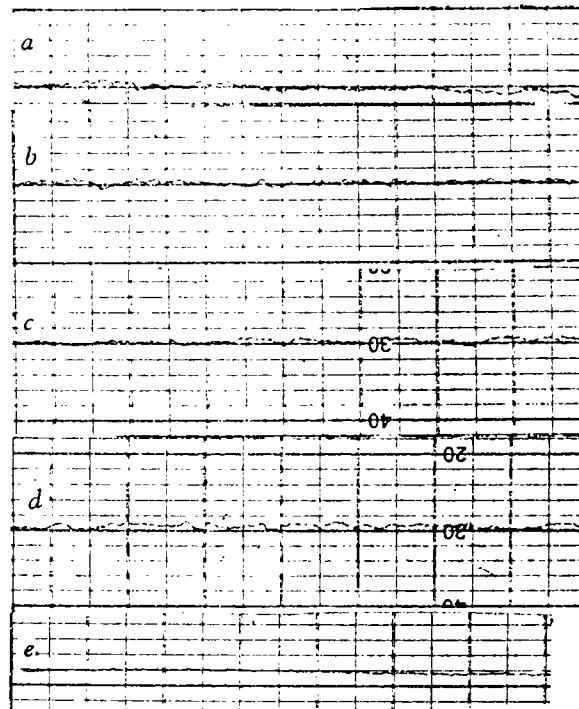


图 4 Talystep 检测浮法抛光样片表面

Talystep 对浮法抛光样片的测量结果。

5 结 论

通过在 FPJ-1 型抛光机上的超光滑表面抛光实验,以及对浮法抛光机理的初步分析,得出如下结论:

- (1) 磨盘表面的沟槽形状及尺寸是实现浮法抛光的关键;
- (2) 采用浮法抛光的方法可获得粗糙度优于 1nm Ra 的超光滑表面。

致谢:作者衷心感谢浮法抛光技术的发明者难波义治(Y. Namba)教授的指导与帮助。本实验所用锡盘由朱文、张志、马文生、黄巍四位同志协助制作,作者深表谢意。

参 考 文 献

- [1] Y. Namba, H. Tsuwa, *Annals of the CIRP*, 1977, **26**: 325
- [2] Y. Namba, *Proc. of SJSEO*, 1992: 160
- [3] 高宏刚等,第二届全国激光科学技术青年学术交流会论文集. 北京, 1993: 2126
- [4] 英国 Rank Taylor Hobson 有限公司 1982 年产品
- [5] J. M. Bennett, J. H. Dancy, *Appl. Opt.*, 1981, **20**: 1785

A Prototype Aparatus for Float Polishing and Initial Experiments

Gao Honggang, Chen Bin, Cao Jianlin, Zhang Junping, Ma Yueying and Chen Xingdan
(*State Key Lab of Applied Optics, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021*)

Abstract

Float polishing is one of the advanced superpolishing techniques. This paper gives a description on our prototype machine for float polishing and initial experiments. We've polished $\phi 30\text{BK7}$ glass with surface roughness better than 1nm Ra after 2~4 hours working

Key Words: Superprecision machining, float polishing, supersmooth surface