

光学元件柔性抛光材料对表面质量的影响

朱学亮¹ 杭凌侠¹ 金桂英²

(¹ 西安工业大学陕西省薄膜技术与光学检测重点实验室, 陕西 西安 710032)

² 中国重型机械研究院, 陕西 西安 710032

摘要 气囊柔性抛光是一种新型的精密光学元件的抛光技术,在非球面制造领域有着广泛的应用。采用柔性气囊抛光装置,选择了三种不同的抛光模层材料进行实验,分析了抛光材料对样片表面粗糙度与表面缺陷的影响。实验研究表明,呢绒是一种高效的非球面元件柔性抛光的模层材料,丝绒材料适用于高质量超光滑元件的抛光。

关键词 光学制造;气囊抛光;模层材料;表面粗糙度

中图分类号 TQ171.6 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.042202

Influence of Flexible Polishing Material on Surface Quality

Zhu Xueliang¹ Hang Lingxia¹ Jin Guiying²

(¹ Shaanxi Provincial Key Laboratory of Thin Films Technology and Optical Test, Xi'an Technological University, Xi'an, Shaanxi 710032, China;
² China National Heavy Machinery Research Institute, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract Ballonet polishing is a new type of flexible polishing technology in the optical polishing. The polishing experiment is implemented on the flexible ballonet polishing device. Three kinds of different polishing layer materials are used in the experiment. Surface roughness and surface defect of the samples of these layer materials are analyzed. The experimental results show that the woolen cloth is a good layer material which can get high processing efficiency, while the velvet material gets low surface defect on polishing sample.

Key words optical fabrication; ballonet polishing; layer material; surface roughness

OCIS codes 220.0220; 160.0160; 230.0230

1 引言

随着光学技术及其相关技术的发展,人们对光学元件制造技术提出了极为严格的要求,对所需元件的表面质量的要求越来越高,主要包括极低的表面粗糙度和极高的表面面型精度。由于非球面元件具有传统光学球面零件所无法比拟的优势而得到了广泛的应用。传统的光学加工方法在加工精度、加工质量的稳定性方面,都无法满足其极高的加工精度和表面质量要求^[1,2]。气囊柔性抛光是一种新型的光学非球面加工方法。20世纪90年代伦敦光学实验室首先提出气囊抛光方法,并与Zeeko公司合作研制了IRP系列气囊式抛光机床^[3,4]。国内的一些专家和学者也对气囊抛光进行了一系列的研究,并取得了一些进展。宋剑锋等研制出了气囊抛光机床的原型样机^[5]。西安工业大学陕西省薄膜技术与光学检测重点实验室研制出FRP-1型柔性抛光机^[6]。本文以K9玻璃为样片分别选用毛毡、呢绒、丝绒等作为抛光材料进行工艺实验。通过对表面粗糙度与表面缺陷的测量对比,分析了抛光材料的去除效率以及对最终表面质量的影响。

2 实验装置与原理

气囊柔性抛光装置由陕西省薄膜技术与光学检测重点实验室自主研发^[6],柔性抛光主要是通过气囊抛光模与工件表面之间的柔性贴合而实现。工件安装于装置主轴上并自转,速度可调节,如图1所示。工件上

收稿日期: 2010-07-30; **收到修改稿日期**: 2010-12-09

基金项目: 陕西省重点实验室基金(08JZ30)和西安工业大学校长基金(XAGDXJJ0804)资助课题。

作者简介: 朱学亮(1983—),男,助教,从事超光滑表面加工与检测技术等方面的研究。E-mail: nanometer2009@qq.com

方为抛光气囊结构,抛光气囊由工装、橡胶层、加强层和抛光模层材料组成,工装与橡胶层封闭的腔体内充入压缩空气保持均匀的压力,中间选用抗拉度较高、厚度很薄的纤维布作为加强层,以保持良好的面型。通过调节工装高度、气囊气压使抛光模与工件表面良好贴合,并且通过摆轴可实现小角度转动。抛光液通过循环供液系统喷射在抛光接触区域。在柔性气囊抛光工艺过程中,气囊压力、气囊位置、摆速、工件转速和抛光模层材料等是影响最终表面加工质量的重要参数。通过不断的工艺实验探索,已经实现对平面、球面、非球面的光学元件的精密抛光。

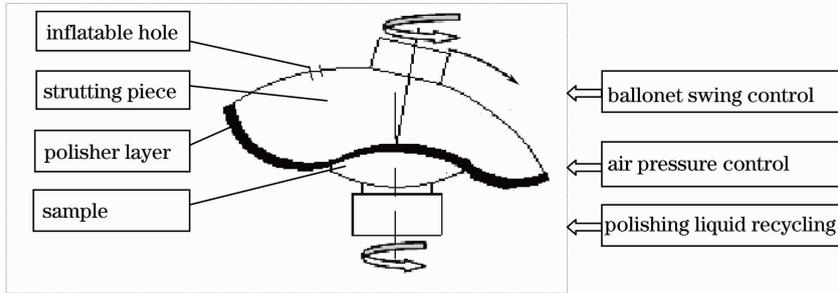


图1 气囊柔性抛光装置原理图

Fig. 1 Structure of ballonet polishing device

3 抛光模层材料

抛光是决定最终表面质量的关键工序,至今尚未形成一种统一的理论来解释抛光机理。但在抛光过程中,无论从机械磨削的观点,还是从化学作用的观点,抛光模均发挥着重要的作用^[7]。因此,如何选取抛光模层材料是一个关键的问题,具体的指标有:具备均匀承载抛光粉能力,以利于产生微小切削作用,同时能储存充分的水,有助于水解反应的进行,并有利于冷却和清洗;抛光过程中产生较高的摩擦热而不至于引起磨具变形,所以需具有较好的耐热性;具有较好的耐磨性和适当的硬度,使工件和抛光模有良好的吻合性;由于抛光模是在湿热的条件下工作,加速了抛光模的老化,必须选择抗老化性能好的抛光材料,以延长抛光模的使用寿命;为保证磨具的面形精度,应选择收缩率小的抛光材料。

根据以上抛光模层材料的选择要求,本文实验选定以下三种材料:

a) 丝绒:质地细腻,表面柔软,使用周期长,不脱毛,主要用来做高精度镜面抛光的特殊材料和终道抛光。

b) 呢绒:精纺呢绒用精梳毛纱织制,所用原料纤维较长而细,梳理平直,纤维在纱线中排列整齐,纱线结构紧密。表面光洁,织纹清晰。

c) 毛毡:具备良好的强力,良好的弹性、良好的耐磨性。

4 实验与分析

实验选用口径 $D=60$ mm、曲率半径 $R=65$ mm 的 K9 玻璃球面样片,在 ZGX70 球面铣磨机上进行铣磨,金刚石磨轮粒度为 $280^\#$,中径 40 mm;本文实验选择三组球面样片,依次编号为 a 组、b 组、c 组,与三种抛光模层材料编号相对应以便于实验数据的分析。通过 Taylor Hobson FFS2 轮廓仪检测,表面粗糙度 R_a 值为 450 nm,在 20 倍显微镜下观察表面未出现明显划痕和疵病^[8]。在气囊柔性抛光平台上分别采用丝绒、呢绒和毛毡材料进行工艺实验。实验工艺参数主要有:主轴转速 200 r/min、主摆速度 25 r/min、副摆速度 15 r/min、气囊压力 5 kPa^[9,10]。在抛光的不同时间阶段,通过 Taly Surf CCI 2000 白光干涉仪对样片进行检测。间隔 10 min 对样片进行测量,得到如图 2 所示的表面粗糙度与加工时间的关系曲线。

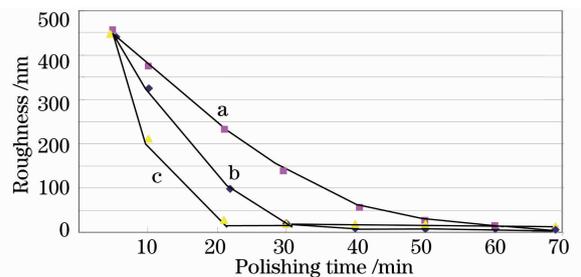


图2 样片表面粗糙度

Fig. 2 Roughness of the samples

通过实验室已有的研究成果将抛光过程中表面粗糙度的变化情况分为快速去除、稳定抛光以及精密抛光三个阶段,如表 1 所示。a 组样片表面粗糙度的收敛速度较慢,加工总时间 70 min,经过抛光的三个阶段后最终表面粗糙度小于 1 nm;b 组样片的表面粗糙度的收敛速度相对较快,30 min 后样片 R_a 值快速下降至 18.65 nm,但随着抛光进入第二阶段,加工总时间 40 min 后其表面粗糙度最终收敛至 2 nm 附近。c 组样片的收敛最为迅速,在 20 min 内表面粗糙度从 450 nm 快速下降至 18.9 nm,但与前面两组所不同的是,随着抛光时间延续,抛光始终停留在第一阶段。

表 1 表面粗糙度阶段变化

Table 1 Trends in different phases of the roughness

Process	Group a		Group b		Group c	
	R_a /nm	T /min	R_a /nm	T /min	R_a /nm	T /min
Initial surface	455	0	448	0	450	0
Quick removal	20.2	40	18.65	30	18.9	20
Stable polishing	2.26	50	2.1	40	—	—
Accurate polishing	0.92	70	—	—	—	—

在观测表面粗糙度的同时,本文针对样片表面缺陷进行了观测。工具选择 20 倍放大镜与白光干涉仪,放大镜主要用于观察表面的划痕、疵病等,而通过白光干涉仪可以直观观测到样片表面微小缺陷和裂纹损伤。以 a 组样片为例,图 3 所示为抛光前和各抛光阶段后的表面损伤情况,图 3(a)为初始样片表面,粗糙度值为 455 nm,裂纹最大深度 3.2 μm ;图 3(b)为快速去除阶段后表面,粗糙度值为 20.2 nm,裂纹最大深度 0.58 μm ;图 3(c)为经稳定抛光阶段后表面,粗糙度值为 2.26 nm,裂纹最大深度 45.6 nm;图 3(d)为精密抛光后表面,粗糙度值为 0.92 nm,裂纹最大深度 7.8 nm。通过白光干涉仪分析软件获得表面的三维立体图,可以比较三种材料抛光完成后不同的表面形貌。图 4(a)为 a 组样片,其表面无明显划痕和坑点;图 4(b)为 b 组样片,表面有少量的坑点状微小缺陷;图 4(c)为 c 组样片,表面存在大量划痕和坑点缺陷。

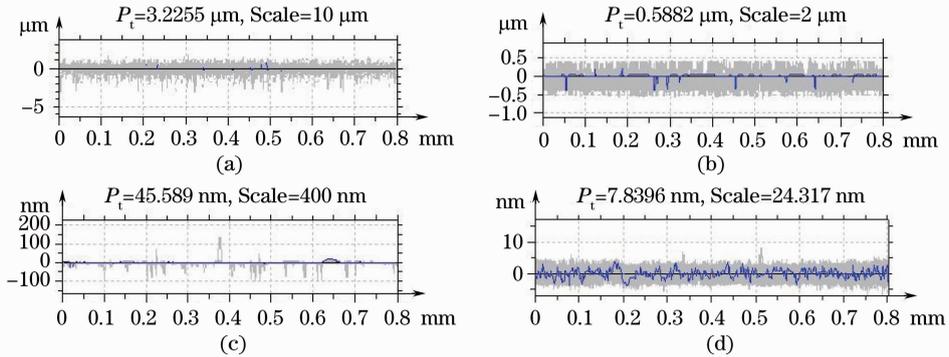


图 3 各阶段 a 组样片表面损伤

Fig. 3 Surface damage of the group a in differen phases

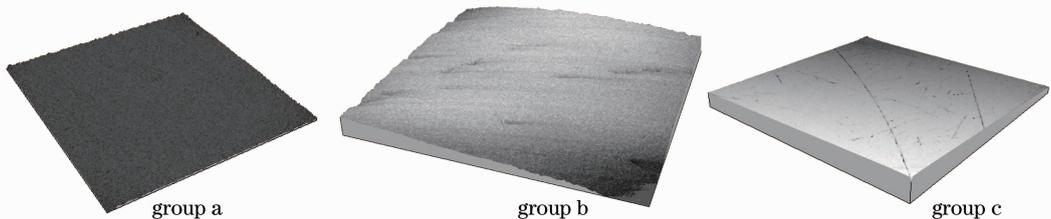


图 4 抛光后样品的三维立体图

Fig. 4 Three-dimensional stereogram of the samples after polishing

综合分析可知,毛毡材料纤维相对较粗,与玻璃表面摩擦产生较大的剪切力,使得表面粗糙度快速收敛,但由于纤维过于粗硬而使得抛光只停留在第一阶段,并却产生了大量的划痕和缺陷;而丝绒材料质地细腻、柔软,保证了在玻璃去除过程中所需的剪切力,虽然其抛光效率较低,但满足了抛光的三个阶段所需的条件,最终得到了粗糙度小于 1 nm 的表面缺陷极低的高质量光学表面;呢绒材料的特性与丝绒类似,但由于其材料密度较大和更好的亲水能力,承载抛光粉能力更强等原因,其加工效率有明显的提高,可在 60 min 内将表面粗糙度 448 nm 的样片快速抛光至 2.1 nm,通过三维立体图可见表面存在少量微小缺陷。

5 结 论

介绍了柔性抛光技术的发展情况,阐述了实验室研制的柔性气囊抛光装置及其原理,给出了抛光模层材料的选择标准依据。选择毛毡、呢绒、丝绒等三种典型的抛光模层材料进行了工艺试验,对样片表面粗糙度与表面缺陷进行了测量分析。实验结果表明,毛毡不适宜于进行光学玻璃的气囊抛光,优质丝绒和呢绒材料是较为理想的气囊抛光材料,但丝绒和呢绒两种材料在去除效率和最终表面质量方面存在差异。丝绒材料适合于超光滑光学表面的抛光工艺,呢绒材料适合于球面和非球面光学元件的快速抛光工艺。

参 考 文 献

- 1 Tony F. Chan, Jianhong Shen. Mathematical models for local non-texture inpainting[J]. *SIAM J. Appl. Math.*, 2002, **62**(3): 1019~1043
- 2 Zhenxiang Shen. Fabrication of supersmooth surfaces with low subsurface damage[J]. *SPIE* 2007. **6722**: 67223W
- 3 Chen Yang, Chen Jianqing, Chen Zhigang. Ultra-smooth surface polishing techniques[J]. *J. Jiangsu University(Natural Science Edition)*, 2003, **24**(5): 55~58
陈 杨, 陈建清, 陈志刚. 超光滑表面抛光技术[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2003, **24**(5): 55~58
- 4 M. D. Feit, A. M. Rubenchik. Influence of subsurface cracks on laser induced surface damage[C]. *SPIE*, **5273**: 264~271
- 5 Song Jianfeng, Yao Yingxue, Xie Dagang *et al.*. Orthogonal experiment and analysis on polishing parameters of bonnet polishing [J]. *Optical Technique*, 2009, **35**(2): 315~318
宋剑锋, 姚英学, 谢大纲 等. 气囊抛光工艺参数的正交实验分析[J]. *光学技术*, 2009, **35**(2): 315~318
- 6 Xi'an Institute of Technology. Aspheric optical components flexible polishing device: china, 200420085836. 8[P]. 20050831
西安工业大学. 非球面柔性抛光装置专利: 中国, 200420085836. 8[P]. 20050831
- 7 Shu Chaolian. *Modern Optical Manufacturing Technology* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. 134~136
舒朝濂. *现代光学制造技术*[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008. 134~136
- 8 Yang Zhiqiang, Guo Zhongda. Study on influence of magnetic field intensity on surface roughness in magnetorheological finishing[J]. *J. Xi'an Technological University*, 2007, **27**(6): 512~517
阳志强, 郭忠达. 磁场强度对磁流变抛光表面粗糙度的影响[J]. *西安工业大学学报*, 2007, **27**(6): 512~517
- 9 Pang Yunxia, Hang Lingxia, Chen Zhili. Investigation on subsurface damage detection of K9 optics[J]. *J. Applied Optics*, 2007, **28**(6): 773~776
庞云霞, 杭凌侠, 陈智利. 基于 WLI 原理 K9 基片的亚表层损伤检测[J]. *应用光学*, 2007, **28**(6): 773~776
- 10 Chen Zhili, Hang Lingxia, Zhang Feng. Novel industrial process for ballonet polishing[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(10): 121~124
陈智利, 杭凌侠, 张 峰. 一种新的气囊式抛光方法的研究[J]. *光电工程*, 2006, **33**(10): 121~124