

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0196-04

光学加工过程中抛光粉参量的变化规律及其对抛光效果的影响

韩敬华^{1,2}, 杨李茗², 刘民才², 刘义彬², 王忠凯¹, 高耀辉¹, 冯国英^{1*}

¹四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064
²成都精密光学工程研究中心, 四川 成都 610041

摘要 针对超精密光滑光学元件加工过程中容易出现的粗糙度较大和表面疵病较多的现象,对传统抛光机理和抛光过程中抛光粉的主要参量对抛光质量的影响进行了研究。研究表明:抛光表面水解层对超光滑表面的形成有重要意义,超大、超硬抛光颗粒是超光滑表面疵病的主要原因。并根据抛光粉的主要参量随抛光时间的变化规律提出抛光周期的概念和对抛光粉进行预处理的抛光方法,即利用抛光初期对抛光粉进行预处理、利用抛光中期进行工件抛光的加工方法。实验结果表明用预处理的方法确实可以有效地降低抛光元件的表面粗糙度和减小表面疵病的出现几率,提高加工的质量和效率。

关键词 光学加工; 预处理; 抛光; 表面疵病

中图分类号 TQ171 **文献标识码** A

Parameter Change Law of the Polishing Powder and Its Influence on the Polishing Effect During the Optical Manufacture

HAN Jing-hua¹, YANG Li-ming², LIU Min-cai², LIU Yi-bing²,
WANG Zhong-kai¹, GAO Yao-hui¹, FENG Guo-ying¹

¹ School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China
² Chengdu Fine Optical Engineering Research Centre, Chengdu, Sichuan 610041, China

Abstract In view of the phenomena that the easy appearance of serious roughness and surface defects, the polishing mechanism and the influence of the main parameters on the polishing quality are researched. The research indicates: the superficial hydrolysis layer on the polishing surface has the vital significance to the formation of ultra smooth surface. The super big and hard grains of the polishing powder are the main reason of the surface defects. According to the variational law of the polishing powder's main parameters with polishing time, the concept of polishing cycle and the method of pretreatment on the polishing powder are proposed. viz. the polishing powder is pretreated on the initial stage period and the workpiece is polished on the intermediate stage. The experimental result indicates: this method can truly reduce surface roughness and the surface defect, and the polishing quality and efficiency are effectively enhanced.

Key words optical manufacture; pretreatment; polishing; surface defect

1 引言

航天、惯性约束聚变(ICF)等高科技领域对大口径、超精密光学元件的需求量越来越大,加工精度要求越来越高。高科技领域对光学元件的要求是较小的表面粗糙度和较高的面形精度以及尽量少的表面疵病,加工难度极大。在实际加工过程中设法控

制加工参量,实现大批量高质量光学元件的稳定加工是现代超光滑表面加工研究的关键^[1]。

在抛光过程中抛光粉的各种参量是影响抛光质量的重要因素,尤其是对抛光表面的粗糙度、表面疵病等影响极大。通过研究抛光粉与抛光表面的作用机理,来改进现有的抛光工艺参量以优化抛光过程

作者简介: 韩敬华(1976—),男,山东滨州人,四川大学硕士研究生,主要从事光学检测和光学加工的研究。

E-mail: hjb_scu@163.com

* 通信联系人。E-mail: guoying_feng@yahoo.com.cn

是对实际加工有重要意义的。

2 抛光粉的物理参量对抛光玻璃表面质量的影响

玻璃抛光的目的是除去研磨加工中在玻璃表面所生成的凹凸不平层和各种裂纹。对于抛光机理,现在学术界根据不同的侧重提出三种学说^[2~4]:机械学说、流变学说和物理化学综合学说。

实践证明物理化学综合学说比较全面,它认为抛光过程是机械、化学和物理的综合作用结果。首先,由抛光粉机械研磨作用去除玻璃表面的凸出部分使得玻璃露出新鲜的表面。同时,抛光液对玻璃的水解作用使玻璃表面形成一层水合软化物(硅胶凝层)。抛光粉的活性缺陷再对该软化层进行吸附并去除,这样就又露出新的玻璃表面,为进一步水解创造条件。抛光过程就是经历过这样无数次水解、去除、再水解、再去掉的循环直到抛光表面达到实际要求。实践证明,抛光玻璃表层硅胶凝层的强度小于内部玻璃而容易抛除,抛光过程主要是在该层的范围内进行的。因此,该水解层对高精度表面面形和超光滑表面的形成意义重大。

2.1 抛光粉粒度对抛光质量的影响

稀土抛光粉的粒度及其分布对抛光粉性能有重要影响^[4]:抛光粉中粗颗粒含量较多时,抛光能力和使用寿命较好。但平均颗粒尺寸过大,会使抛光元件表面粗糙度较大。超大颗粒还会超出玻璃表面的软化层厚度而对玻璃表面划伤,造成表面疵病。细颗粒含量较多时抛光粉平均粒度较小,抛光效率下降,但玻璃表面粗糙度较小。当附着在抛光盘上的抛光粉颗粒尺寸颗粒太细而小于硅胶凝层的厚度时就会失去抛光能力,如氧化铁抛光颗粒小于 $0.34\ \mu\text{m}$,没有抛光效率^[2]。

颗粒的粒度影响到它的比表面积、悬浮度等^[5]。在抛光过程中,抛光粉的初始微晶体发生断裂(断裂表面或断裂层)露出新的缺陷——阳离子空位或阴离子空位,具有高能点。高能点缺陷在暴露的瞬间即与玻璃表面进行分子接触、粘合并去除硅胶层而形成光滑表面。另外,抛光粉的粒度越小,就越容易引起团聚,导致磨料颗粒粒径增大,从而影响加工效果^[1]。

因此要了解抛光粉粒度的真实分布情况,要从它的最大粒径 d_{\max} ,中位径 d_{50} 和平均粒径等多方面综合测量。

2.2 抛光粉的晶粒对抛光质量的影响

稀土抛光粉具有相当高的分散性和内部未完成的晶格状态^[6],使其有较高的活性。如果制造过程温度过高,使晶格有序排列增强,缺陷减少,就会使抛光粉颗粒过硬、晶粒过大。这样的抛光粉,机械去除能力较大,但容易使抛光工件表面出现划痕。

2.3 抛光粉的抗破碎强度和形状对抛光质量的影响

在实际加工过程中,外界作用于各个磨料颗粒的力一般会超过这些颗粒的抗破碎强度,使其破碎。所以磨料传给玻璃的最大作用力不决定于外界的压力,而只决定于颗粒本身的抗破碎强度^[3]。在相同的粒度下,磨料的硬度越大,其抗破碎力越大,造成的凹陷就越深。相同硬度的颗粒,粒度越大,其抗破碎力就越大。抛光粉中个别带有很尖棱角且硬度很大的颗粒在颗粒和玻璃接触的地方可能产生很大的压力,形成很深划痕或麻点。所以个别大的颗粒是造成表面疵病的主要原因。

3 抛光过程中抛光粉参量变化的测量

抛光粉的粒度分布、晶粒大小和颗粒相貌是影响抛光质量的主要原因,所以从测量这三个重要参量入手进行研究。考虑到抛光粉的参量在抛光过程中会发生变化,在抛光过程中的不同时刻取样测量^[7]。分别用激光衍射粒度分析仪(Mastersizer2000)、X射线衍射仪和扫描电镜来测试以上参量。

3.1 抛光粉的粒度分布和平均晶粒随抛光时间的变化规律

在新添加抛光粉后的第5 min,15 min,30 min和60 min进行取样,测得其最大颗粒 d_{\max} ,表面积平均粒度 \bar{d} 和中位径 d_{50} 和抛光粉的平均晶粒大小随抛光时间的变化情况,如图1所示。抛光粉的粒度在抛光初期很短的时间内减小量很大。在大约5~10 min的时间里,抛光粉的表面积平均粒度 \bar{d} ,中位径 d_{50} ,特别是最大颗粒 d_{\max} 各自迅速地减小为原来的1/2左右。随后三者变小的速度放缓,在抛光后5 min到1 h里,抛光粉的最大颗粒 d_{\max} ,中位径 d_{50} 和表面积平均粒径 \bar{d} 减小的幅度很小。这说明在抛光开始后很短的时间里抛光粉的大颗粒总体上被断裂为小颗粒,使得小颗粒总体增加。而在随后颗粒的破碎量极小,则说明此时抛光粉的参量特性适合于抛光,该阶段是抛光的主要阶段。

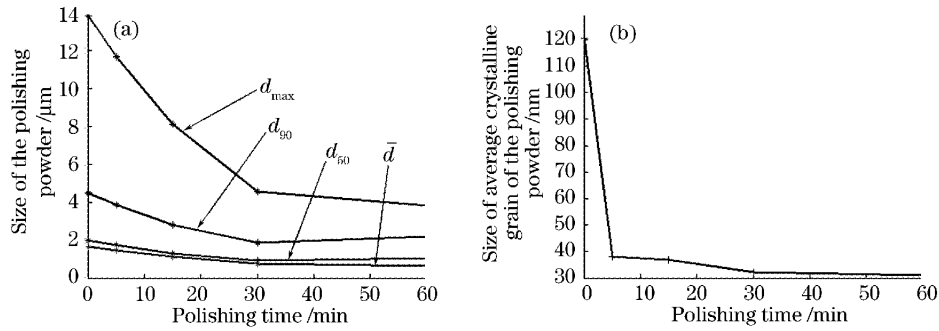


图 1 抛光粉粒度(a),平均晶粒(b)随抛光时间的变化

Fig. 1 Particle size (a), average crystalline grain (b) of the polishing powder versus the polishing time

抛光粉的平均晶粒的变化规律与上述规律相似。抛光粉的平均晶粒在抛光初期的 5 min 内就基本变为原来大小的 1/3 左右,在随后的抛光时间里变化量极小,说明在抛光初期随着外力的作用抛光粉断裂的不但有颗粒,同时还有晶粒。晶粒的充分断裂使得抛光粉活性大大增强,有利于提高抛光速度。但是若晶粒过大,就容易在抛光表面出现表面疵病。所以,在晶粒充分变小的基础上进行的抛光可有利于保证抛光质量。

3.2 抛光粉的颗粒形貌随抛光时间的变化

用扫描电镜观测上述抛光粉样品在不同时刻的形貌,如图 2 所示。

图 2(a)是未使用的氧化铈抛光粉颗粒的形貌,

颗粒基本成平板状长方体结构,有明显尖角,且粒径分布不均匀,最长粒径为 5 μm 左右,有较为明显的团聚现象。抛光颗粒这种片状结构,较大的脆性和在不大的机械作用下迅速被研碎成具有尖角形状薄片结构的性质,使其具有很高的抛光能力^[1]。但当颗粒的粒度和晶粒较大或有个别硬颗粒和外界杂质存在时,往往会在抛光元件的表面产生疵病。图 2(b)和(c)是添加抛光粉加工 5 min 后抛光粉的颗粒形貌。由图可见,抛光粉的粒度迅速变小,颗粒棱角变钝,这表明在抛光过程中抛光粉的棱角会起到充分磨削的作用。在颗粒断裂面有明显的断裂分层结构,说明抛光粉颗粒的晶粒也同时破碎。随着抛光的继续,抛光粉仍有变小的趋势,但是形貌变化

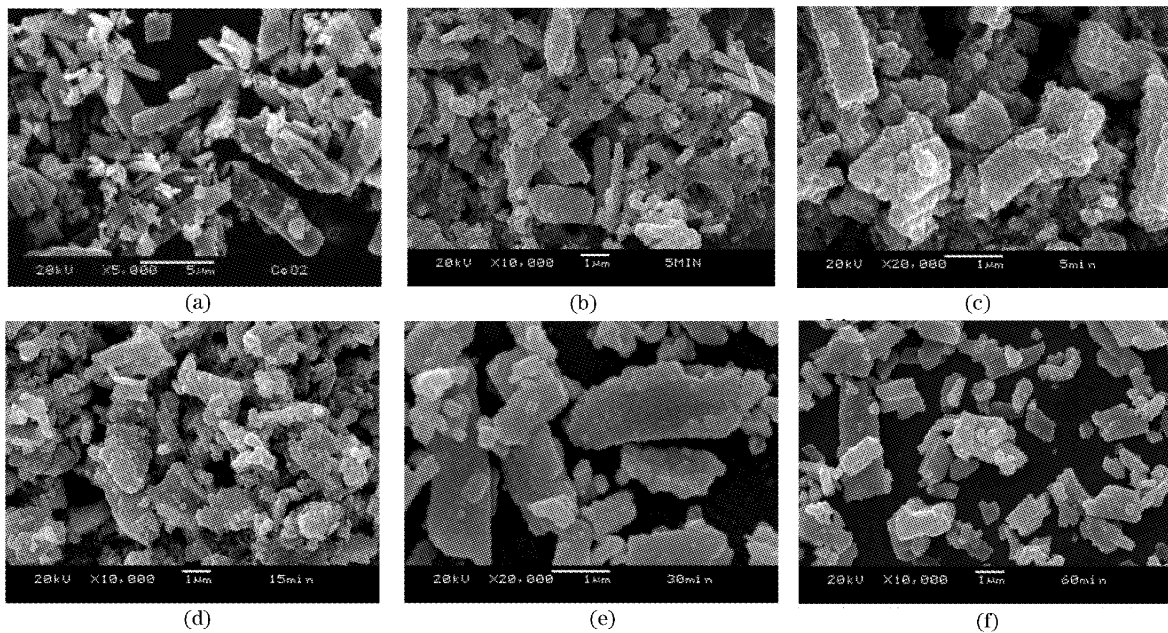


图 2 抛光粉末经使用前的形貌(a),抛光 5 min 后的形貌(b),(c),抛光 15 min 后的形貌(d),
抛光 30 min 后的形貌(e)和抛光 60 min 后的形貌(f)

Fig. 2 The appearance without polishing power (a), the polishing power for 5 min (b),(c), used for 15 min (d),
used for 30 min (e), used for 60 min (f)

不大,如图 2(d),图 2(e)所示,这一段时间持续较长,是保证抛光质量的重要阶段。当抛光粉减小到一定的粒度时就不再减小,如图 2(f)所示,说明这时抛光粉的颗粒已经很小而失去对玻璃作用的能力,即为抛光后期。

4 实验结论与讨论

4.1 划分抛光周期

根据上面实验测量和理论分析,可以把两次添加抛光的时间间隔看为一个抛光周期,根据每一个周期内抛光粉参量的变化情况,把一个抛光周期分为抛光初期、中期和后期三个阶段。抛光初期是新添加的抛光粉在外力作用下破碎的阶段,该阶段时间很短,对大型环抛加工过程大约是 5~10 min。抛光中期是充分破碎了的抛光粉进行工作的阶段,该阶段时间较长,上述工艺大约为 40 min 左右。抛光后期是指当抛光粉粒度小到一定程度时会失去抛光能力的阶段,这时需要添加新的抛光液,进行下一次周期的循环。

4.2 提出对抛光粉进行预抛光的方法

抛光初期是新添加的抛光粉在外力作用下充分断裂,较大粒度和晶粒在迅速减小的阶段。其中不易破碎的较硬颗粒也被磨入抛光盘的沟槽内,这些变化相当于对新添加抛光粉进行了预处理。若在抛光初期进行工件抛光,就很容易使抛光元件表面产生划痕、麻点等表面疵病而严重影响抛光质量。为了避免这些现象,提出对抛光粉进行预处理的方法,即在抛光初期先利用压板进行抛光,使得抛光粉得到充分的

预处理变化。再在这些变化的基础上,利用抛光中期阶段进行抛光工件加工,就可以有效地避免表面疵病的产生,而提高抛光效率和质量。在抛光后期,抛光粉失去抛光能力。实验结果表明,利用对抛光粉预处理的抛光方法可以提高抛光质量。

参 考 文 献

- 1 Xu Qinglan, Wu Fan, Wu Shibin *et al.*. Study on technologies and techniques for processing super-smooth surface of single-crystal silicon [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(5): 69~72
徐清兰,伍凡,吴时彬等. 单晶硅镜面超光滑表面工艺技术研究 [J]. *光电工程*, 2003, **30**(5): 69~72
- 2 H. Carchnov. Flat Glass Grinding and Polishing Technology [M]. Beijing: China Industry Press, 1965. 84~225
H. 卡恰洛夫著,毛文杰 杨映芳译. 平板玻璃研磨抛光工艺学 [M]. 北京: 中国工业出版社, 1965. 84~225
- 3 Ye Qihong, Li Yanhong, Zhou Yonghua *et al.*. Size control for CeO₂ polishing powders by accurate classification [J]. *China Powder Engineering*, 2002, **8**(5): 5~7
叶齐红,李艳红,周永华等. 氧化铈抛光粉精密分级控制粒度的研究 [J]. *中国粉体技术*, 2002, **8**(5): 5~7
- 4 Zheng Wucheng. The relation of the physico-chemical performance of the rare earth polishing powder and polishingability [J]. *Chinese Rare Earths*, 1981, (1): 46~51
郑武城. 稀土抛光粉的物化性能与抛光能力之间的关系 [J]. *稀土*, 1981, (1): 46~51
- 5 Huang Shaodong, Liu Lingsheng, Li Xueshun *et al.*. A study on preparation of rare earth polishing powder [J]. *Chinese Rare Earths*, 2002, **23**(6): 46~49
黄绍东,刘铃声,李学舜等. 光学玻璃抛光用稀土抛光粉的制备 [J]. *稀土*, 2002, **23**(6): 46~49
- 6 Li Xueshun, Yang Guosheng, Cui Lingxiao. Study on condition of process of polishing glasses by rare earth polishing powder [J]. *China Powder Engineering*, 2004, **3**: 36~40
李学舜,杨国胜,崔凌霄. 稀土抛光粉在眼睛玻璃抛光中研磨条件的研究 [J]. *中国粉体工程*, 2004, **3**: 36~40
- 7 M. J. Cumbo, D. Fairhurst, S. D. Jacobs *et al.*. Slurry particle size evolution during the polishing of optical glass [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(19): 3743~3755