

· 光学设计 ·

## 小曲率透镜的高效加工工艺

白涛, 李洋, 张涛, 许广涛, 张成群, 张恒华, 钱金亮

(河南省平原光电有限公司, 河南 焦作 454150)

**摘要:**应用德国LOH公司生产的SPM-60数控铣磨机和SPS-60数控抛光机,开展了对小曲率透镜高效加工工艺的研究。通过利用正交试验,确定了抛光中对元件面形影响显著的因素,并利用单因素实验确定了最佳的工艺参数,其中抛光模转速700 r/min,抛光模压力0.16 bar,抛光时间500 s,结合元件在铣磨、精磨后的面形,统筹安排零件的加工次序,最终实现小曲率透镜的高效加工工艺。

**关键词:**透镜;高效;工艺

中图分类号:O431

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2018)-05-0015-04

## Research on High Efficient Fabrication Craft of Low Curvature Lens

BAI Tao, LI Yang, ZHANG Tao, XU Guang-tao, ZHANG Cheng-qun, ZHANG Heng-hua, QIAN Jin-liang

(Henan Pingyuan Optics & Electrics Co. Ltd., Jiaozuo 454150, China)

**Abstract:** The high efficient fabrication craft research on the low curvature lens has been done through the numerical control milling and grinding machine SPM-60 and the numerical control polishing machine SPS-60 made by LOH company in Germany. The obvious craft factors influencing on component surface during polishing process have been found through the orthorhombic experiment. The best craft parameters have been found by single factor experiment, such as 700 r/min rotatory speed of polishing tool, 0.16 bar pressure and 500 s polishing time. Depending on the surface shape of the lens after milling and grinding and fine grinding, the proper polishing order is done to realize the high efficient process craft of the low curvature lens.

**Key words:** lens; high efficient; craft

随着光学技术的发展,光学元件的应用领域不断扩展,需求数量正迅猛增长。同时对所需要元件表面质量的要求也越来越严格,尤其是以强激光光学元件、激光陀螺反射镜等为代表,要求表面加工需达到零损伤要求。在众多种类的光学元件中,球面光学元件应用频率较高,光学设计中,透镜的曲率半径是最重要的特性参数之一。因此,在球面透镜的加工过程中,确保所加工的光学球面曲率半径满足设计要求,是应用于实际的关键。球面透镜中的小曲率半径透镜因其自身特点,在光学设计中应用频率较高,所以研究高效生产小曲率半径的透镜是很有意义的。

当前光学零件的加工方式,除古典加工技艺外,已研发出的有单点金刚石车削技术、计算机数控抛光技术、磁流变抛光技术等。古典低速抛光技术作为一种获取高精度光学元件的传统光学加工技术,具有取材方便、设备要求低、生产成本低、抛光精度高等特点。但在加工效率、工艺稳定性等方面存在明显的不足。在低速抛光工艺中,诸多工艺因素影响零件的表面质量,其中包括设备主轴转速、抛光压力、抛光液浓度和粒度等。由于低速加工设备的局限性,导致了工艺因素改善空间小,最终影响了元件的加工效率。而透镜的高效生产工艺,实际是相对于古典低速抛光技术的一项改革,

其基础是采用全套的高速加工设备。如高速铣磨机、高速精磨抛光机等。对于高速精磨抛光机,当前主要采用两种抛光材料在高速抛光机上抛光。其一是固着磨料抛光片抛光,其二是聚氨酯抛光材料和抛光液抛光。固着磨料抛光片因为质量不稳定,所以抛光效果并不理想。生产实例表明,聚氨酯抛光材料抛光有更高的抛光效率,中等抛光镜盘抛光只需2~3 min,去除麻点和路子的能力强,同时抛光数十至百盘镜盘其面形不变。该类生产工艺一般仅适用于产品单一,批量大,且透镜精度在中低档次,如民用照相机镜头和枪瞄准镜等产品<sup>[1-2]</sup>。

以此高速生产工艺为基础,通过使用德国LOH公司生产的SPM-60数控铣磨机及SPS-60数控抛光机,来完成对小曲率透镜的高效加工。在加工中,利用正交工艺试验,研究了抛光模压力、转速、抛光时间对透镜光洁度及面形的影响,并通过单因素实验确定了最佳的工艺参数。实际加工中,结合最佳工艺参数,统筹安排零件的加工次序,最终实现对小曲率透镜的高效加工。

## 1 实验

### 1.1 加工及检测设备

实验加工的透镜,其凹面曲率半径为38.89 mm,凸面曲率半径为83.37 mm,工件直径为69.86 mm,中心厚度为5.6 mm。实验中使用的加工设备为德国LOH公司生产的SPM-60数控铣磨机以及SPS-60数控抛光机。检测使用的工具有千分表、光学标准样板及6倍放大镜。

### 1.2 实验方法

首先使用SPM-60数控铣磨机对毛坯玻璃进行铣磨和精磨工序,以满足抛光工序对零件粗糙度和面形的要求。使用设备自带的精磨金刚石磨轮完成加工,即可满足抛光所需要的粗糙度要求。对于工件面形的检测,通过使用千分表和测量环测量矢高差来确定,相对矢高差的取值要适当,否则透镜的中部或边缘将在抛光后留下疵病,工件在研磨后的矢高差要求为 $-3\ \mu\text{m}$ 。对于研磨后的工件,期望其刀纹细且为十字刀纹,这样有利于后续抛光工序的加工。

在此基础上使用SPS-60数控抛光机,对小曲率

透镜进行抛光工序。在抛光工序中,通过正交试验,研究了抛光模压力、抛光模转速、抛光时间对零件面形的影响,并通过单因素实验,最终确定了抛光小曲率透镜的最佳工艺参数。结合确定的最佳工艺参数,在大批量生产中,根据零件面形的差异,统筹安排,实现对小曲率透镜的高效加工。

## 2 实验结果及分析

文中的主要内容是研究小曲率透镜的高效加工工艺,通过正交试验对数控抛光球面时影响透镜面形的三个因素展开了研究,每个因素选取三个水平正交试验,可建立如表1所示的三因素三水平正交试验。

表1 数控抛光正交试验安排

水平	因素		
	压力/bar	转速/r/min	时间/s
1	0.10	800	900
2	0.15	1 200	700
3	0.20	1 600	500

根据正交试验的结果,分析了不同水平下单因素的极差。结合加工完成元件所测量的矢高差,通过计算相应因素的极差,确定了每种因素的影响程度。正交试验极差分析如表2所示。

表2 数控抛光正交试验极差分析

指标	矢高差/ $\mu\text{m}$			
	因素	压力	转速	时间
水平	I	-1.267	-1.167	-1.067
	II	-0.9	-1.4	-1.267
	III	-1.233	-0.833	-1.067
	极差	-0.367	-0.567	-0.2

对实验结果进行分析,得到抛光模转速极差最大。表明在抛光过程中,该因素对元件面形影响最大,研抛压力次之,抛光时间最后。在此基础上利用单因素实验,确定每种因素的最佳工艺参数<sup>[3-4]</sup>。

### 2.1 抛光模转速对光学元件面形的影响

球面光学元件抛光过程中,在主轴作转动以及抛光模既转动又摆动的条件下,任意瞬时工件与模具接触表面上任意一点的相对线速度是影响零件表面疵病、表面粗糙度、光圈稳定性与抛光效率的重要物理量之一。

本小节中通过安排单因素实验,主要研究了抛光模转速的变化对加工元件面形的影响。在单因素实验中,确定了抛光模压力为0.15 bar,抛光时间为500 s。待加工元件为经铣磨、精磨后,矢高为-3 μm的小曲率透镜,检测量为加工元件的光圈。实验结果如表3所示。

表3 抛光模转速变化对元件面形影响

	500/ r/min	700/ r/min	900/ r/min	1 100/ r/min	1 300/ r/min
0.15 bar 500 s	-2	-1	1	1.5	3

加工元件的光圈与抛光头转速关系如图1所示。

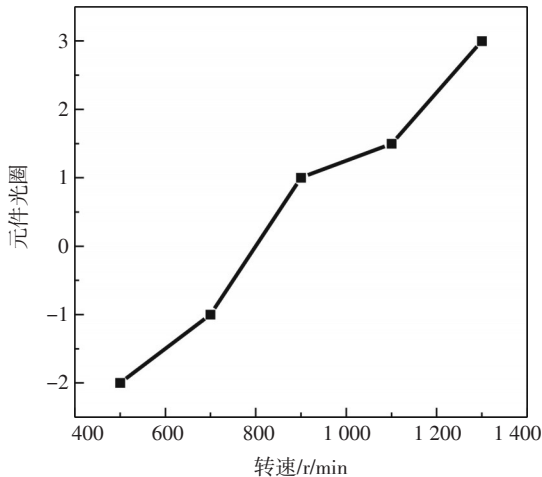


图1 抛光模转速与元件光圈关系、

实验结果表明,在保证其他因素不变的条件下,随着抛光模转速的增加,光学元件的光圈升高。分析认为,抛光模具在研磨中,当抛光模转速增加时,由于工件边缘线速度较快,导致相对速度较大,元件边缘研磨量大,光圈升高。

### 2.2 抛光模压力对光学元件面形的影响

决定光学元件表面研抛质量的因素之一是抛光模和工件之间的研抛压力。研磨压力过大,元件将被过研磨,甚至损坏抛光模;如果研磨压力过小,则元件表面材料去除效率低,研抛效率降低。

因此选择合适的研磨压力,直接决定了加工元件的加工质量以及加工效率。根据抛光设备的特点,并结合正交试验的结果,针对研抛压力对光学

元件表面质量的影响,进行了单因素工艺实验。在单因素实验中,确定了相对转速为400 r/min,抛光时间为500 s。待加工元件为经铣磨、精磨后,矢高为-3 μm的小曲率透镜,检测量为加工元件的光圈。实验结果如表4所示。

表4 抛光模压力变化对元件面形影响

	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18
400 r/min 500 s	3	1.5	1	-1	-2

加工元件的光圈与研磨压力之间的关系如图2所示。

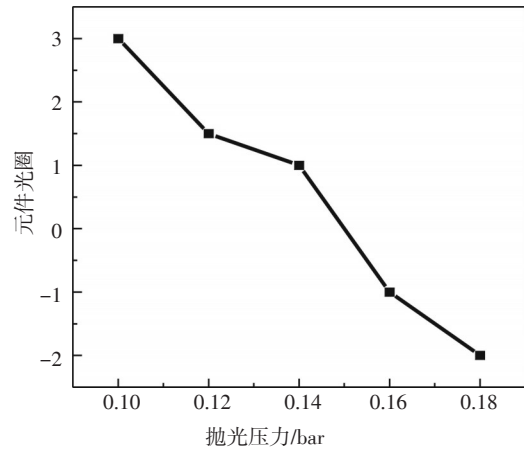


图2 抛光模压力与元件光圈关系

由实验结果可得,随着抛光模具压力增加,元件在研磨过程中,光圈有降低的趋势。分析认为,抛光模具在研磨中,对元件边缘的压力小于中心的压力,导致元件中心研磨量大,光圈降低<sup>[5-6]</sup>。

### 2.3 抛光时间对光学元件面形的影响

元件在抛光中,加工时间的长短也直接影响到元件的面形。当抛光时间较短时,元件表面材料去除量减少,直接影响到元件表面光洁度以及面形。抛光时间过长时,元件表面将会被过度研磨,导致元件面形不能满足应用要求。

为此,结合正交试验的结果,针对抛光时间对光学元件表面质量的影响,进行了单因素工艺实验。在单因素实验中,确定了抛光模转速为400 r/min,抛光模压力为0.1 bar。待加工元件为经铣磨后,矢高为-3 μm的小曲率透镜。实验安排及结果如表5所示。

表5 抛光时间变化对元件面形影响

	300 s	500 s	700 s	900 s	1 100 s
1.5 bar	-2	-1	1	1.5	3
500 r/min					

加工元件的光圈与研磨时间关系如图3所示。

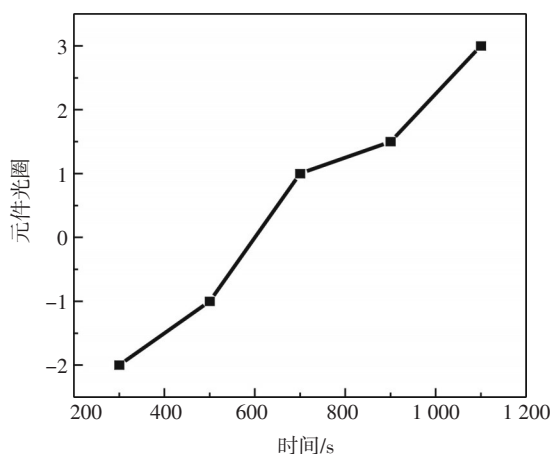


图3 抛光时间与元件光圈关系

实验结果表明,随着研磨时间的延长,光圈有升高的趋势。分析认为,当研磨时间增加时,元件在压力和转速的影响下,边缘部分研磨量较大,导致元件光圈升高<sup>[7]</sup>。

通过以上单因素实验研究了不同工艺因素对加工元件面形的影响情况。结合单因素实验结果选取抛光模转速为 700 r/min,抛光模压力为 0.16 bar,抛光时间为 500 s,对经铣磨、精磨后矢高为  $-3\ \mu\text{m}$  的小曲率透镜进行抛光,检测结果发现元件光洁度满足要求,光圈为-1道圈,确定为实际加工的最佳工艺参数。

生产中,为了提高小曲率透镜的加工效率,除了应选择最佳的工艺参数外,还应根据元件在前一工序加工后面形的特点,统筹安排元件的加工次序,最终达到高效加工的目的。对于本实验中,小曲率透镜的高效加工,应根据铣磨、精磨后元件的

面形,确定加工的次序。具体为,铣磨、精磨后检测元件矢高差,先加工矢高差最低的,再加工矢高差较高的。这样可以充分利用抛光模的磨削特性,提高加工效率。

### 3 结 论

通过实验研究发现,在使用SPS-60数控抛光机对小曲率透镜抛光时,最佳的工艺参数为抛光模转速 700 r/min,抛光模压力 0.16 bar,抛光时间 500 s。通过利用该工艺参数,可对小曲率透镜进行快速的加工。大批量生产中,结合铣磨、精磨后零件面形的特点,统筹安排零件加工次序,最终能够完成对零件的高效加工。

### 参考文献

- [1] 王鹤岩,蔡立,朴成镐.光学零件加工主要难点的分析[J]. 光学技术,2006,32(5):410-417.
- [2] 徐岩,李善武,杨新华,等.红外材料硅透镜加工工艺研究[J]. 红外与激光工程,2006,35(3):359-370.
- [3] 田志辉,史振广,刘伟奇,等.曲率半径的高精度测量及其不确定度[J]. 光学精密工程,2013,21(10):2495-2501.
- [4] 冀春荣,刘明远,何钺.球面光学零件抛光时的相对线速度及其影响因素[J]. 光学技术,1996(4):44-47.
- [5] 史永杰,郑堤,王龙山,等.非球面精密数控研抛中研抛力的控制[J]. 光学精密工程,2011,19(5):1013-1021.
- [6] 冀春荣,刘明远,何钺.球面光学零件抛光时的瞬时压强分布[J]. 西安交通大学学报,1996,30(7):79-83.
- [7] 王权陡,刘民才,张洪霞.数控抛光技术中抛光盘的去函数[J]. 光学技术,2000,26(1):32-34.
- [8] 姜淑君,田晨光,盛新志.新型阶跃纤芯微结构包层抗弯曲大模场面积光纤[J]. 光电技术应用,2018,33(4):1-8.
- [9] 卢鑫.基于旋转扫描的大口径红外双视场光学系统设计[J]. 光电技术应用,2018,33(3):6-9.
- [10] 谭乃悦,许中杰,王睿.基于四透镜[J]. 光电技术应用,2018,33(4):1-8.