

鱼镜头中透镜加工工艺的改进

杨永亮¹, 张泓筠¹, 李娜^{1*}, 岳莉¹, 付秀华²¹凯里学院物理与电子工程学院, 贵州 凯里 556011;²长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022

摘要 为了提高鱼镜头中透镜的加工效率, 设计了三片不胶盘夹具代替传统的刚性盘和弹性盘进行精磨和抛光, 提高了生产效率; 采用熔化后的聚氨酯代替上盘胶, 可避免抛光时胶层对面型的影响; 运用皮筋代替设备上的压力表, 提高了下摆机精磨和抛光时光圈的稳定性; 规范精磨及抛光工序中模具的使用, 有利于生产效率的提高; 通过对抛光和定心磨边先后顺序的调整, 可有效避免磨边过程中在零件表面产生压痕和划痕; 通过对涂墨夹具结构的改进, 提高生产效率, 降低劳动强度。在生产中, 三片不胶盘夹具的生产效率相对较低, 如何成功研制出多片不胶盘夹具是下一步工作的重点。

关键词 表面光学; 鱼镜头; 不胶盘夹具; 机械定心磨边; 精磨

中图分类号 TH706 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP54.082401

Improvement of Machining Process for Lens in Fisheye Lens

Yang Yongliang¹, Zhang Hongyun¹, Li Na¹, Yue Li¹, Fu Xiuhua²¹Physics and Electronic Engineering College, Kaili University, Kaili, Guizhou 556011, China;²College of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

Abstract In order to improve the processing efficiency of lens in fisheye lens, traditional rigid disk and elastic disk are replaced by designed three-piece nonblocking fixture for fine grinding and polishing. The production efficiency is enhanced. In the polishing process, the effect of glues on surface form can be avoided by utilizing fused polyurethane instead of blocking glues. The stability of aperture in polishing and fine grinding processes of hem machine is enhanced by using the rubber band instead of the pressure gage in the equipment. The regulatory usage of molds in polishing and fine grinding processes is in favor of improving production efficiency. The impact of impressions and scratches on the surfaces of the parts caused by edging process are avoided effectively by adjusting the sequence of polishing and mechanical centering and edging. The production efficiency is enhanced and the labor intensity is reduced by improving the structure of fixture for smearing ink. In production, the production efficiency of three-piece nonblocking fixture is lower, and how to successfully develop multi-piece nonblocking fixture is the focus of the further work.

Key words optics at surfaces; fisheye lens; nonblocking fixture; mechanical centering and edging; fine grinding

OCIS codes 240.5450; 080.3630; 350.3850; 120.4880

1 引言

鱼镜头因具有较大的视场角, 被广泛应用于智能手机、倒车后视、全景泊车、智能监控等领域^[1-5], 随着这些领域的迅速发展, 对鱼镜头的需求量越来越大。通常每款鱼镜头中有 4~6 片透镜, 因此对透镜的

收稿日期: 2017-03-03; **收到修改稿日期:** 2017-03-29

基金项目: 贵州省“125 计划”重大科技专项项目(黔教合重大专项字[2014]037 号)、贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2014]2148 号)、贵州省科技合作计划项目(黔科合 LH 字[2015]7743 号)、专业综合改革试点项目光电信息科学与工程专业综合改革(BKGC201602)

作者简介: 杨永亮(1984—), 男, 博士, 副教授, 主要从事光学薄膜等方面的研究。E-mail: 310147155@qq.com

* **通信联系人.** E-mail: 215389990@qq.com

需求量更大。由于上述民用鱼镜头对光学零件的精度要求相对较低,普遍采用准球心高效加工工艺进行批量生产^[6-10]。对于鱼镜头中的第一片透镜,多采用不胶盘单片加工工艺、弹性盘多片加工工艺或刚性盘多片加工工艺进行批量生产,而对于不胶盘多片加工工艺还未见相关报道。

浙江大学曹天宁教授^[11]提出,我国光电信息产业与国际水平相差较大的是材料、工艺和制造水平,应该在这三个方面加大投入,进行重点研究,小透镜的下摆机加工工艺应该是重中之重。本文使用 HSGM-0.5 型下摆机,采用三片不胶盘工艺代替传统的胶盘工艺对透镜进行精磨和抛光,并对上摆机的加压方式、涂墨夹具的结构进行改进,同时对传统的工艺流程进行优化。

2 技术要求

光学零件图如图 1 所示,透镜材料为 H-ZLAF50B,对零件的要求如表 1 所示,其中 N 为光圈数, ΔN 为局部光圈数, ΔR 为样板的半径偏差, x 为中心偏差, B 为表面光洁度。

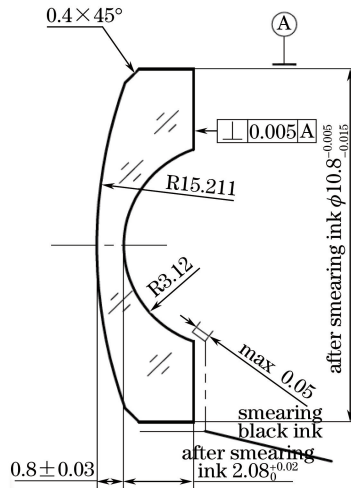


图 1 透镜图(mm)

Fig. 1 Diagram of the lens (mm)

表 1 对透镜的要求

Table 1 Requirements for lens

Requirement	N	ΔN	ΔR	x	B
Value	5	1	A	$8'$	60-40

3 主要加工工序

3.1 铣磨

采用 P-80 型铣磨机对零件进行铣磨,磨轮结构如图 2 所示,磨料粒度为 320[#]。铣磨凸面时, D 为 10 mm, r 为 1 mm。铣磨凹面时, D 为 4 mm, r 为 0.5 mm。铣磨时,先铣磨凹面,再铣磨凸面,这样能更有效地控制中心厚度的误差范围及零件的偏心。

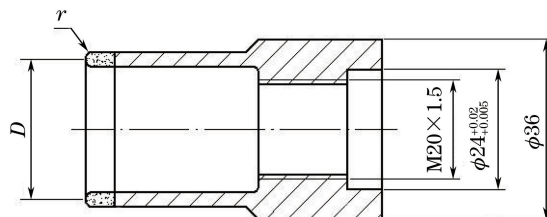


图 2 铣磨磨轮(mm)

Fig. 2 Milling wheel (mm)

3.2 精磨及抛光

根据模具在精磨及抛光工序中所起作用的不同,模具可分为6类,分别是抛光模、抛光修模、合模、压模、精磨模和抛光皮修模。各模具的使用方法及作用如下:

1) 抛光模是对零件进行抛光的模具,使用时其表面需要粘贴上聚氨酯抛光皮,抛光模的曲率半径视抛光皮的厚度而定,加工凸面零件时,采用的模具结构如图3中E所示,凹面零件则采用图3中A的结构。需要注意的是,在抛光皮与模具粘贴过程中,为了避免其他粘结剂(比如AB胶)对聚氨酯抛光皮表面的影响,采用将聚氨酯自身溶化后作为粘结剂的方法进行抛光皮与模具粘贴,这样不仅可以节省上盘胶,还可以充分地聚氨酯的边角料;

2) 抛光修模用于修整抛光模的面型,加工凸面零件时,采用的模具结构如图3中C所示,凹面零件则采用图3中B的结构,B与A对研,C与E对研,以获得所需面型的抛光模;

3) 合模通常成对存在,具体结构如图3中B和C所示,用于修整精磨丸片和修抛光皮丸片的面型,使用前,二者需对研以获得所需面型;

4) 压模的结构与合模相同,其作用是,在聚氨酯抛光皮粘在抛光模上以后,压在抛光皮表面上,以确保抛光皮与抛光模紧密贴合的同时,使抛光皮的面型更接近所需面型;

5) 精磨模是对零件进行精磨的模具,使用时,需用胶将模具和丸片粘贴在一起,对于大口径零件多采用图3中D的结构,小口径零件多采用F结构;

6) 抛光皮修模的作用是修整抛光皮的面型,其结构及制作方式与精磨模相同,抛光皮修模通常成对存在,一个用来提光圈,一个用来降光圈。通常修抛光皮丸片的粒度要比精磨丸片的粒度大。

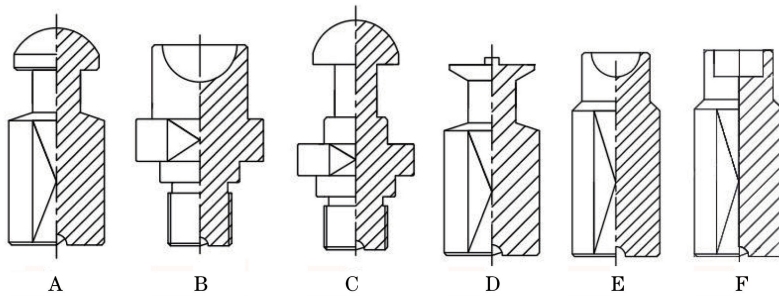


图3 模具图

Fig. 3 Mold drawing

采用 HSGM-0.5 型下摆机对零件的凸面进行加工。对于小口径、大曲率半径的零件,加工时多采用不胶盘单片加工工艺,弹性盘或刚性盘多片加工工艺,本实验中采用不胶盘三片加工工艺对零件进行精磨及抛光,不胶盘夹具的具体结构如图4所示。加工过程中,要保证零件在上,抛光和精磨盘在下。

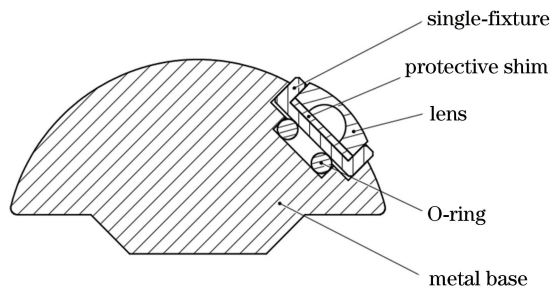


图4 不胶盘夹具

Fig. 4 Nonblocking fixture

该夹具是用O型圈、单片夹具和保护垫代替上盘胶,操作者在精磨或抛光过程中就可以完成零件的上、下盘,这不仅可以省去加热上盘、下盘以及上盘胶清洗的工序,还可以避免因加热上盘胶造成的污染。为了提高面型精度,增加精磨及抛光过程中光圈的稳定性,采用如图5所示的压力头对夹具和零件施加压力,同时在压力头底部加入O型圈,O型圈固定在压力头内侧,与压力头同时上升或下落。加工过程中,该O型圈

可确保零件的均匀磨耗,在一定程度上避免碎件。由于聚甲醛树脂(POM)有良好的物理、机械和化学性能,尤其是有优异的耐磨性能^[12],单片夹具多采用这种材料,用来固定零件并与基体连接。保护垫片多使用阻尼布,其作用是保护未加工表面,防止加工过程中产生划痕。三片夹具在使用时,先将零件放入单片夹具中,再将二者一起放入金属基体槽中,最后将夹具和零件整体放入精磨盘或抛光盘内适当的位置,启动设备,设备的加压轴与下端装有 O 型圈的压力头下落,压在单片夹具上进行加工。

采用 JPP11.6C 型上摆机对零件凹面进行加工,加工时采用单片不胶盘夹具,如图 6 所示。夹具上端的凹槽是用来放置刚体,刚体与顶针接触,可以延长夹具的使用寿命。由于设备采用气动的加压方式,压力大小通过压力表来调整,对于小口径零件,若采用该加压方式,会出现中心厚度控制难度大及面型精度差等问题。为此,对设备局部做了改进,将设备原有的加压方式改成橡皮筋加压方式,通过增加或减少橡皮筋的数量来调整压力,有效地解决了上述问题。

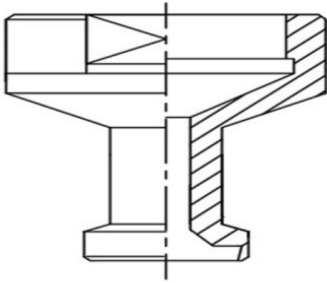


图 5 压力头

Fig. 5 Compression head

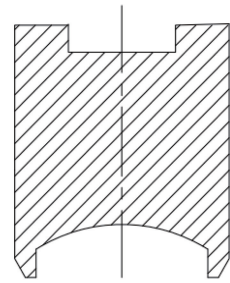


图 6 单片不胶盘夹具

Fig. 6 Single nonblocking fixture

由于 H-ZLAF50B 材料的硬度较大,为了提高丸片的利用率和精磨工艺的稳定性,凹面及凸面均采用 3 道丸片进行精磨,其中前两道丸片为金属结合剂,磨料粒度分别是 1200[#] 和 1500[#],第 3 道丸片为树脂结合剂,磨料粒度为 1500[#]。其中精磨液的型号为 JM-2005A,抛光粉的型号为 MIROX 1025A,聚氨酯抛光皮的型号为 YG701。需要说明的是,精磨时,为了更好地控制零件的中心厚度,先精磨凹面,再精磨凸面。为了防止抛光过程中夹具划伤抛光面,采取先抛光凹面后抛光凸面的方式,以保证凹面抛光后不与夹具直接接触。

3.3 定心磨边

在生产中,采用机械定心磨边的方法对零件进行定心,该方法虽然生产效率高,但容易对抛光后的零件表面产生压痕或划伤,影响零件表面质量。通常解决该问题的方法是将抛光面涂上保护漆,定心磨边后再对保护漆进行清洗。这种方法虽可行,但势必会增加工艺流程,降低生产效率。为了解决上述问题,实验中将传统的工艺流程“铣磨-精磨-抛光-定心磨边”调整为“铣磨-精磨-定心磨边-抛光”,并对磨边夹具与零件接触的部位做抛光处理,这样既减少工艺流程,也保证机械定心磨边后零件的表面质量。定心磨边是在 ACD-100 型变频磨边机上完成的,砂轮的粒度为 400[#],砂轮设计时带有倒角和靠台,加工时,磨边、倒角以及靠台一次性完成,以确保满足偏心及垂直度的要求。

3.4 涂 墨

采用 YR-TM2 型涂墨机对零件进行涂墨处理,在涂墨过程中,只有保证涂墨机的机械转轴与零件光轴重合,才能确保均匀涂墨。而手动对二者进行调整,既费时又很难保证二者重合。为此,对涂墨夹具做了改进,改进后的夹具结构如图 7 所示,夹具的材料为聚甲醛树脂。由图 7 可知,该夹具主要由上夹具和下夹具两部分构成,上夹具可确保涂墨机的机械转轴与零件光轴重合,下夹具则带动零件进行旋转。使用时,上夹具套在下夹具上,且可以上下滑动。当上夹具向上滑动时,将零件放于上夹具顶端的凹槽中,随后二者一起向下滑动,滑动到零件与下夹具顶端接触时,进行吸附,转轴开始旋转,进行涂墨。

4 测试与分析

4.1 曲率半径及表面粗糙度 R_a 的测试

随机抽取 100 个样品,选用精度为 A 级的光学样板对光圈进行检测,凸面合格率可达到 94%,凹面合格

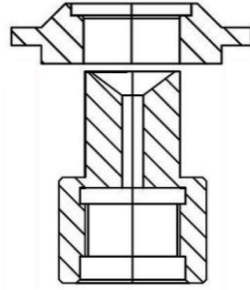


图7 涂墨夹具

Fig. 7 Fixture for smearing ink

率为96%。随机抽取光圈检测合格的样品,采用PGI1240型轮廓仪进行测试,凹面及凸面的测试结果分别如图8(a)和(b)所示。利用轮廓仪测得凸面的表面粗糙度 R_a 为 $0.0837\ \mu\text{m}$,曲率半径为 $15.2248\ \text{mm}$,曲率半径的测量值大于理论值,通过样板检测时的光圈数为4,采用色序法对零件表面的光圈高低进行判断,从零件中心向边缘的颜色序列为“红、黄、蓝”可判断零件表面为低光圈,即凸面的曲率半径大于样板的曲率半径,与轮廓仪的测试结果基本一致。利用轮廓仪测得凹面的表面粗糙度 R_a 为 $0.0756\ \mu\text{m}$,凹面的曲率半径为 $3.1195\ \text{mm}$,曲率半径的测量值小于理论值,通过样板检测时的光圈数为3,同样采用色序法进行判断,凹面为低光圈,与轮廓仪的测试结果基本一致。

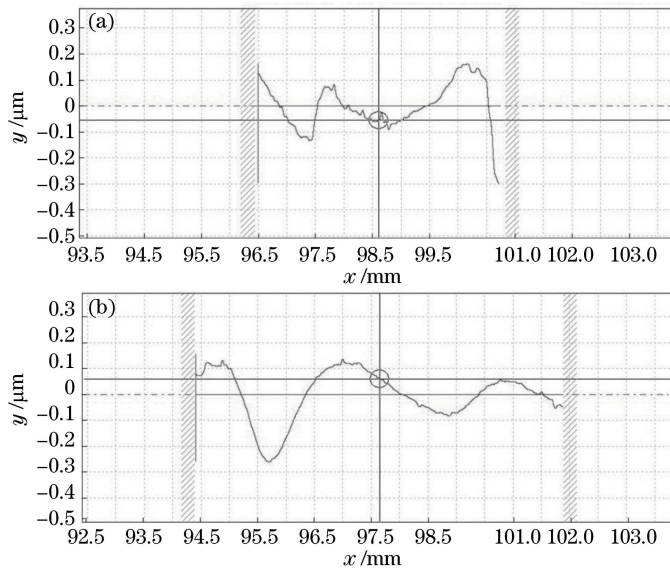


图8 抛光后零件面型图。(a)凹面;(b)凸面

Fig. 8 Surface form figure of parts after polishing. (a) Concavity; (b) convexity

采用样板测量零件表面曲率半径时,光圈数 N 与空气层厚度 Δh 之间有如下关系^[13]: $\Delta h = N \cdot \lambda / 2$,式中 λ 为入射光波长。假定以入射光波长为 $500\ \text{nm}$ 计算,则透镜凸面和凹面与标准样板表面之间的空气层厚度分别为 $1000\ \text{nm}$ 和 $750\ \text{nm}$ 。经过计算,与轮廓仪的测试结果基本一致。

4.2 其他性能测试

其他性能测试的结果如表2所示。偏心测试:采用FW-LensVT型透射式偏心仪对透镜的偏心进行测试,93%的零件的偏心小于 $8'$;划痕:划痕宽度小于 $60\ \mu\text{m}$,两个面划痕长度之和小于镜片口径的一半的样品比例可达到96%;麻点:两个面单点直径小于 $400\ \mu\text{m}$, $200\sim 400\ \mu\text{m}$ 的麻点数小于等于三个的样品合格率可达到96%以上;零件口径及厚度均在公差范围内的样品可达到95%;两个面局部光圈小于1的样品可达到98%以上。

表 2 其他性能测试
Table 2 Test of other properties

Test item	Test instrument	Qualification rate
Center deviation	Off-center instrument (FW-Lens VT)	93%
Scratch	Magnifying lens (XB-86C) and naked eyes	96%
Hard spot	Magnifying lens (XB-86C) and naked eyes	96%
Tolerance of calibre and thickness	Pachymeter (TF-4030)	95%
Irregularity of Newton's ring	Optical template (A grade) and naked eyes	98%

5 结 论

对光学零件进行批量生产时,采用三片不胶盘工艺代替传统的胶盘工艺,在一定程度上缩短工艺流程,提高生产效率。同时,根据零件的特点,还可采用 4,5,6,7 片不胶盘工艺,但镜片数过多时,该方法就存在一定的局限性;在生产中,规范模具的使用,不仅可提高生产效率,还有利于生产管理;通过对工艺流程的调整,可以保证机械定心磨边后零件的表面质量,但机械定心磨边后零件的口径变小,在抛光工序中,对应夹具的口径应做相应的调整;通过对上摆机加压方式的改进,解决了小口径零件中心厚度控制难度大及面型精度差等问题;通过对涂墨夹具的改进,可提高涂墨工序的成品率,降低了工人的劳动强度。生产中,三片夹具的生产效率相对较低,如何成功研制出多片不胶盘夹具是下一步工作的重点。

参 考 文 献

- [1] Zhang Baolong, Li Dan, Zhang Shaojing, *et al.* Design of aspheric fisheye lens and study of distortion correction algorithms[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(12): 1222001.
张宝龙, 李 丹, 张少敬, 等. 非球面鱼镜头设计及畸变校正算法研究[J]. *光学学报*, 2014, 34(12): 1222001.
- [2] Liu Yan, Han Min, Ju Rongbing, *et al.* Design and instance of a sport digital video fisheye lens[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2016, 53(8): 082201.
刘 言, 韩 敏, 居荣兵, 等. 一款运动 DV 鱼镜头的设计与实例[J]. *激光与光电子学进展*, 2016, 53(8): 082201.
- [3] Wu Zejun, Wu Qingyang, Zhang Baichun. A new calibration method for fisheye lens based on spherical model[J]. *Chinese J Lasers*, 2015, 42(5): 0508006.
吴泽俊, 吴庆阳, 张佰春. 一种新的基于球面模型的鱼镜头标定方法[J]. *中国激光*, 2015, 42(5): 0508006.
- [4] Wu Haiqing, Zhao Xinliang, Li Tonghai, *et al.* Design of refractive/diffractive IR fish-eye optical system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(8): 1533-1536.
吴海清, 赵新亮, 李同海, 等. 折射/衍射红外鱼镜头光学系统设计[J]. *光子学报*, 2010, 39(8): 1533-1536.
- [5] Lee T Y, Chang T S, Wei C H, *et al.* Automatic distortion correction of endoscopic images captured with wide-angle zoom lens[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2013, 60(9): 2603-2613.
- [6] Wang Yuankang. High efficient grinding and polishing becomes a hot research topic of optical parts[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2012.
王元康. 光学零件高效加工工艺研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2012.
- [7] Braat J J M, Smid A, Wijnakker M M B. Design and production technology of replicated aspheric objective lenses for optical disk systems[J]. *Applied Optics*, 1985, 24(12): 1853-1855.
- [8] Wang Kai, Lü Ke, Shi Weiren, *et al.* Pneumatic pressure control of large caliber optical polishing system[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013, 34(3): 531-536.
王 楷, 吕 科, 石为人, 等. 大口径光学抛光系统的气动压力控制[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34(3): 531-536.
- [9] Xuan Bin, Xie Jingjiang, Song Shumei. Application of multi-mode combined polishing to optical manufacturing[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(1): 41-50.
宣 斌, 谢京江, 宋淑梅. 多模式组合抛光技术在光学加工中的应用[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(1): 41-50.
- [10] Li Yingxuan. Polishing technology for nonblocking single lens[J]. *Optical Technology*, 1996(1): 36-38.
李应选. 透镜不胶盘单件抛光技术[J]. *光学技术*, 1996(1): 36-38.
- [11] 曹天宁. 我国光学加工的几个热点: 小, 大, 硬, 精[J]. *激光与光电子学进展*, 2009, 46(7): 58-59.
- [12] Yu Jian, Wang Shuwu, Huang Guofeng, *et al.* Study on the toughening mechanism of POM/NBR blends[J]. *Acta Polymerica Sinica*, 2000(1): 90-91.
于 建, 王书武, 黄国锋, 等. 丁腈橡胶对聚甲醛树脂的增韧机理研究[J]. *高分子学报*, 2000(1): 90-91.
- [13] 蔡 立. 光学零件加工技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006.