

自聚焦透镜高效批量加工的双面研磨抛光法研究

李 强^{1,2} 王三文³ 姚胜利^{1,3} 米 磊^{1,2,3} 高 凤^{1,3}

(1 中国科学院西安光学精磨机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 飞秒光电科技(西安)有限公司, 西安 710119)

摘 要 依据双面研磨抛光原理,提出了加工自聚焦透镜平面和斜面辅助工装设计. 从工艺技术特点和生产实际过程等方面对设计的工装使用情况进行分析验证. 多次大批量加工实践证明,该辅助工装的设计完全满足了自聚焦透镜高效批量加工技术要求,简化整个生产线工艺,减少工艺流程时间,降低材辅料的消耗成本,从而验证了双面研磨抛光法是一种实用的加工自聚焦透镜的新方法.

关键词 信息光学;加工技术;双面研磨抛光;自聚焦透镜

中图分类号 TQ171.77 **文献标识码** A

0 引言

近几年来,将制造技术、软件技术和精密仪器仪表结合起来的综合自动化加工技术研究,已经成为光学制造技术的一个重要发展方向^[1]. 国际上,自聚焦透镜的主要制造商板硝子公司,已经进行多年的自聚焦透镜新型加工技术研究;国内主要的无源器件公司目前仍旧采用传统抛光法来加工自聚焦透镜,对其新型加工技术的研究进展缓慢. 为了应对国内外市场的激烈竞争,作为国内自聚焦透镜主要制造商飞秒公司,从 2001 年开始率先提出用双面研磨抛光法来加工自聚焦透镜,采用国产双面研磨抛光机作为主要加工设备.

利用双面研磨抛光法加工自聚焦透镜,在设计理念上颠覆了传统冷加工技术核心,使精磨、抛光变得简单容易. 辅助工装的设计使用不仅成为保证技术指标的关键,而且成为该工艺的核心;整个制造过程无“卡脖子”工序,加工工序和辅助工序少、加工周期短、生产节奏快、效率高、工艺流畅;使用廉价材料自制高准确度工装,且能反复使用,是降低成本的重要因素.

1 双面精磨抛光法的原理

在设备选用上,摒弃传统的双轴和三轴研磨抛光机,选用双面研磨抛光机.

双面研磨抛光法适用于平行度要求高的薄片,上下抛光模用聚氨酯制造,中间隔离圈用聚四氟乙烯薄板制造. 利用工件在分离器孔的位置互换性使工件的平行度得到修正. 工件的平面性主要是抛光

模的轮廓复制,其原理主要依据 Preston 提出的假设,建立起了一个关于材料去除量、压力和瞬时速度之间的线性关系. 工件运动方式原理如图 1.

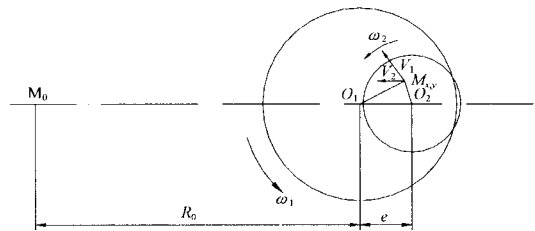


图 1 双面研磨抛光原理

Fig. 1 Two sides milling and polishing elements

这样,就可以根据被加工工件位置与加工工具之间的相对速度和压力,以及加工时间 t 计算出在这段时间内表面材料的去除量 Δz 为

$$\Delta z(x, y) = K \int_0^t P(x, y, t) V(x, y, t) dt \quad (1)$$

式中, K 为除速度和压力以外的一个比例常量; $P(x, y, t)$ — $M(x, y, t)$ 点的瞬时压强; $V(x, y, t)$ — $M(x, y, t)$ 点的瞬时速度; t 加工时间.

$V(x, y, t)$ 作如下分析:

对于

$$\mathbf{v}(x, y, t) = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2 \quad (2)$$

其中

$$V_1 = R_0 \omega_1 \quad (3)$$

$$V_2 = r_i \omega_2 \quad (4)$$

其瞬时速度中心在 M_0 时, $\mathbf{v}(x, y, t) = 0$, 即

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2 \quad (5)$$

又由式(3)、(4)可得

$$V_1 = R_0 \omega_1 \quad (6)$$

$$V_2 = (R_0 + e) \omega_2 \quad (7)$$

联立式(5)、(6)、(7)可得

$$R_0 = e \omega_2 / (\omega_1 - \omega_2) \quad (8)$$

当 $\omega_1 \rightarrow \omega_2$ 时, $R_0 \rightarrow \infty$, 产生平动, 速度趋于均匀.

当推动平面的着力点接近接触面时,压力也趋于均匀,从而获得了均匀抛光(磨损)的条件.

要想实现要求的材料去除量 $\Delta z(x, y, t)$, 先按比例估算法进行计算, 设定机床相关参量, 其误差比较大, 结合生产实践进行校正.

热变形也是精密加工时要关注的问题, 由于抛光热使平行平面工件产生厚度方向的温度线性分布, 用 Δt 表示. 设工件外径为 D , 厚度为 d , 工件材料的热膨胀系数为 α , 则平面产生球面变形, 球面的矢高为 h , 则

$$h = D^2 \alpha \Delta t / 8d \quad (9)$$

根据实践检验, 对于直径 20 cm, 正常厚度的 K9 工件, 温度每变化 1℃, 对应的面形差异达 5~6 个条纹, 由于加工的玻璃片很小, 分配到每个透镜的热变形可以忽略.

2 高效批量加工工艺技术的核心-辅助工装的设计

所谓先进工艺技术的核心, 就是选用国内目前出现的先进加工设备和新的材料、辅料来设计的一套完整、高效率的生产工艺规程. 这里不能把工艺简单的理解为利用新设备、材料来改变加工方式和缩短加工时间, 还应当把自聚焦透镜高效批量加工技术的基本特征通过辅助工装的使用, 在整个制造过程的各个环节体现出来.

2.1 辅助工装设计的依据

在光学冷加工中, 光学零件的直径太大或太小, 都会给加工带来很大困难. 实际加工的自聚焦透镜因其体积太小而增加了加工难度, 因此尽可能将其“集小变大”而达到降低加工难度是双面研磨抛光工艺设计的指导思想和首要解决的问题.

在双面研磨抛光中, 整盘一次最多可以实现加工 40 片(约 6000pcs 透镜). 要保证在大批量生产中自聚焦透镜的角准确度和尺寸准确度的一致性, 是工艺设计必须要解决的问题, 也是辅助工装设计的依据, 因为这两个问题如不能很好解决, 即使有再先进的设备也不能实现透镜的高效批量加工.

2.2 辅助工装的设计

辅助工装的设计主要包括两个部分, 一是加工平面的工装设计, 二是加工斜面的工装设计. 加工平面时, 采用双层玻璃板夹一排丝的方法, 多层累加在一起, 使丝和玻璃板构成一个立方体, 经过切割后成为“片”. 这样就实现了“集小变大”, 从而就充分利用了双面研磨抛光机的加工优势. 对于斜面工装的设计, 采用圆形厚玻璃板加靠体, 作为主体斜面工装, 其结构如图 2.

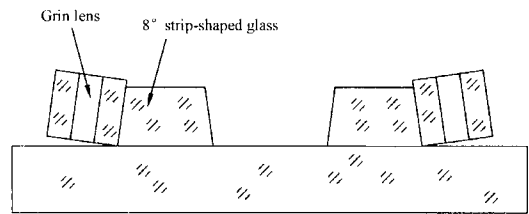


图 2 斜面工装
Fig. 2 Inclined plane jig

3 工艺的技术特点

以 0.23P8° 自聚焦透镜为例来说明工艺技术的特点. 自聚焦透镜的要求见图 3.

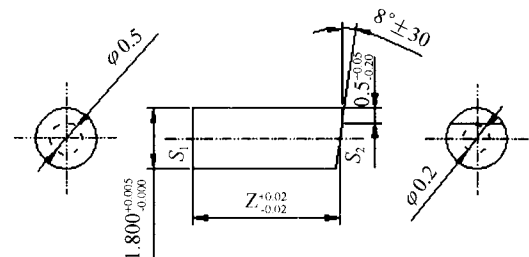


图 3 0.23P 8° 自聚焦透镜
Fig. 3 0.23P 8° Grin lens

传统的工艺方法之一是采用插孔法, 将一个零件固定在夹具中(夹具的孔分为直角和 8° 角两种). 本工艺的技术核心就是采用胶合成方、玻璃胶盘、靠体加工和配以若干类特种粘接胶, 在高效生产线上一次完成平面切割、双面研磨和抛光以及斜面双面研磨和抛光. 它的特点如下:

3.1 工序少效率高

加工工序和辅助工序少, 生产节奏快、效率高、适合大批量生产. 这一特点可由以下三个方面体现出来.

1) 由于采用玻璃成方、内圆切割、直角面成片加工和斜面成条加工, 彻底改变了传统插孔法的效率低、人员多和上盘繁锁的缺点.

2) 直接由程序控制压力时间, 自动完成双面研磨和抛光. 这样不但加工准确度高, 整批的一致性, 而且彻底摆脱了传统手工加工, 避免了人为因素造成的不良影响, 节约了劳动力和减少了工人的劳动强度.

3) 加工斜面时, 由成方拆成成条上斜面盘, 不需要对单个零件脱胶. 解决了传统斜面上盘清洗等费工、费时、操作繁琐的加工方式.

由以上三点可以看出, 由于加工工序和辅助工序少, 使其整个生产时间短、节奏快, 因而达到了高效生产的目的. 同时投入的生产人员亦少, 这对降低生产成本, 提高生产率是极为有利的.

3.2 大批量生产中可以保证透镜的轴线长度和角准确度

对于轴线长度准确度为“ $\pm 0.02 \text{ mm}$ ”、斜面准确度“ $\pm 0.3^\circ$ ”范围透镜的大批量生产,采用传统的技术固然是可以保证其准确度,但是现实需要透镜的特点是数量大,价格低,又因传统插孔法对操作者技能要求高、效率低和生产成本高,因而不适应大批量生产的要求. 要保证透镜在大批量生产中的轴线准确度和斜面角准确度并不是一件容易的事. 这是因为即要做到保证其技术要求,又要做到低的制造成本. 否则透镜的价格是没有竞争力的.

双面精磨抛光法之所以能够保证透镜的轴线和斜面角准确度,主要是因为依靠设计玻璃工装本身的准确度和采用双面研磨抛光加工方法,并配以若干类特种粘接胶和其它夹具来共同保证完成的. 这项技术贯穿于整个加工过程的各个环节,其使用结果见表 1.

表 1 测试数据

生产日期	送检数/ pcs	轴线超差/ pcs	斜面角超差/ pcs	合格率/ %
04.8.5	125	3	1	96.8
05.3.11	125	2	0	98.4
05.5.27	125	1	0	99.2

注:本表格数据为随机抽查结果.

由表 1 可看出,双面精磨抛光法对透镜在大批量中的轴线和斜面角准确度有较高的合格率. 突破了传统工艺中手工精磨控制尺寸的方法,因而使得整个加工过程变得流畅,为透镜的高效生产奠定了关键的基础.

使用这项技术,对于生产过程出现的异常品易于发现,挑出进行返修. 所以,使用双面研磨抛光法所生产的透镜综合合格率可达 80% 左右.

4 高效批量加工生产线的实践

透镜加工高效生产线是建立在“三高”基础上的:即切割为金刚石内圆切割刀高速切割,精磨为双面精磨机高速自动精磨,抛光为聚氨酯片高效抛光. 以每组加工 30 片为例,生产各道工序所需要的时间如表 2.

表 2 高效生产各工序所用时间

工序	参量	工序除去量/ mm	工序所用时间/ min	备注
排丝			60	1 盒/4 人
切割		0.45~0.55	120	含倒边
精磨		0.6~0.8	120	
抛光			240	
8°上盘			240	/2 人
8°精磨			60	
8°抛光			120	
下盘			0.5	

注:此表数据为 2004 年时间生产统计结果.

按照现在实际流水作业生产节奏,一盒玻璃成方丝从胶合开始到斜面加工下盘(包括各道辅助工序在内)所用的时间一般约为 15h. 由此可见,高效率的生产线是透镜加工技术的重要组成部分.

轴线尺寸、角准确度和表面粗糙度是透镜的三个主要的技术指标. 这三项指标涉及到加工中各道工序对整批透镜的平行差要求、面形要求和精磨、抛光除去量的要求. 以对精磨整批 $\phi 1.8 \text{ mm}$ 透镜为例,不仅要保证每片的平行差 $\leq 0.005 \text{ mm}$,而且要保证整批 30 片的平行差 $\leq 0.01 \text{ mm}$ 的要求. 这样不仅保证了整批的尺寸准确度,同时根据双面研磨抛光原理也保证了角准确度. 这对传统的手工操作不仅困难大,而且对操作者的技能要求也高. 但对安装特殊工装后的内圆切割机来说,仅需将切割刀对机床主轴上的工装调整好所需的角度,即可进行连续切割,而且完全可以保证其面形和平行差的要求. 同样,对于安装特殊工装后的双面研磨机加工来说,仅需将每片放进对应的游行轮中,在机床的触摸式液晶显示屏上输入相应的压力、转速及时间,即可连续、稳定的自动完成研磨. 以上二例说明,高效生产之所以能够保证工序加工的质量,主要是依靠设备的准确度和工装夹具来实现的.

5 结论

为了满足自聚焦透镜的技术要求,设计了专用的辅助工装夹具系统,并配以适当的粘接材料,从而实现了自聚焦透镜的高效大批量生产. 生产线上的应用实践表明,加工一盒玻璃成方丝从胶合开始到斜面加工下盘(包括各道辅助工序在内)所用的时间一般约为 15h. 成品自聚焦透镜的轴线尺寸、角准确度和表面粗糙度均达到规定的技术指标,证明双面研磨抛光法是一种实用的加工自聚焦透镜的新方法.

参考文献

- 1 杨力. 先进光学制造技术. 北京:科学出版社,2001.5~18
Yang L. Advanced Optics Make Technology. Beijing: Science Press,2001.5~18
- 2 刘德森. 微小光学微小光子器件. 光子学报,1997,26(Z1):21~23
Liu D S. Acta Photonica Sinica,1997,26(Z1):21~23
- 3 高应俊,姚胜利,高风. 用自聚焦透镜作平行光束与单模光纤的最佳偶合. 光子学报,1999,28(2):176~179
Gao Y J, Yao S L, Gao F. Acta Photonica Sinica,1999,28(2):176~179
- 4 李育林,霍军民,贺正权. 梯度折射率透镜的开发及应用. 光子学报,2002,29(Z1):302~306
Li Y L, Huo J M, He Z Q. Acta Photonica Sinica,2002,29(Z1):302~306

- 5 刘德森,高应俊. 变折射率介质的物理基础. 北京:国防工业出版社,1991. 377~405
Liu D S, Gao Y J. Physical Fundamentals of GRIN Media. Beijing: National Defense Industry Press, 1991. 377~405
- 6 田维坚,姚胜利,陈荣利,等. 用于运动目标探测的多通道成像系统. 光子学报,2002,31(1):41~49
Tian W J, Yao S L, Chen R L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002,31(1):41~49

A Study of High Efficiency Batch two Sides Milling and Polishing Make Technology for Grin Lens

Li Qiang^{1,2}, Wang Sanwen³, Yao Shengli^{1,2,3}, Mi Lei¹, Gao Feng^{1,3}

1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068*

2 *Graduate School Chinese Academy of Science, Beijing 100039*

3 *Femto Technology(Xi'an)Co., Ltd., Xi'an 710119*

Received date: 2005-06-07

Abstract Based on two sides milling and polishing elements, a suit of Grin lens assistant jig design was brought forward. From technics characteristic and practice aspect, assistant jigs were analysed and proved. By times without number batch machining, this suit of assistant jig can achieve demand of Grin lens high efficiency batch make technology. Comparisons indicate that whole product line technics turns easy, procedure time in production are shortened and cost in assistant material are reduced. This research results showed that two sides milling and polishing means is a new useful and practical way.

Keywords Information optics; Make technology; Two sides milling and polishing; Grin lens



Li Qiang male, born in 1978 in Jiangsu Province. He received the B. C. degrees from Xi'an Institute of Technology in 2000. Now he is studying for his M. S. in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. His major interests include Grin lens testing, Grin lens make technology and optics design.