

文章编号: 1001-4322(2003)10-0951-04

非球面聚焦透镜数控加工技术研究*

王健^{1,2}, 鄢定尧², 李洁², 许乔²

(1. 四川大学 光电科学技术系, 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: 国内现有的高功率固体激光装置所使用的非球面聚焦透镜都是用传统方式手工加工而成的, 由于手工加工方式的加工精度和进度对人的依赖性很大, 势必影响大批量制造时的工程进度。而采用新兴的小磨头数控加工技术则可以避免这些缺点。介绍了首次将小磨头数控加工技术用于非球面聚焦透镜的加工, 对其中各项技术, 包括典型靶镜参数、机床控制方式、加工运动方式、实验使用参数、检测方式进行了分析, 并得到了预期的实验结果。

关键词: 小磨头数控抛光; 非球面; 透镜

中图分类号: TN252

文献标识码: A

国内现有的高功率固体激光装置所使用的非球面聚焦透镜都是用传统方式手工加工而成的。通常聚焦透镜的一面是非球面, 另一面是平面或球面。加工精度要求一般为弥散源 0.010.02mm, 其作用是将平行光汇聚到一个点上。由于采用手工的加工方式, 加工的精度和进度对人的依赖性很大, 这势必影响大批量制造时的工程进度和加工质量的稳定性。而采用新兴的小磨头数控加工技术则可以避免这些缺点。现在国内已有采用数控小磨头加工平面和反射式非球面的研究, 但用于加工透射式的非球面聚焦透镜在此之前还没有尝试。本文介绍将小磨头数控加工技术用于非球面聚焦透镜加工中的各项技术和实验情况。

1 数控光学加工技术简介

数控小磨头抛光技术 (CCOS, computer controlled optical surfacing) 是采用小磨头对工件表面局部误差进行加工的技术, 它有加工定位准确, 误差面型收敛快而稳定的优点^[1]。数控抛光的工作流程如图 1 所示^[2]。

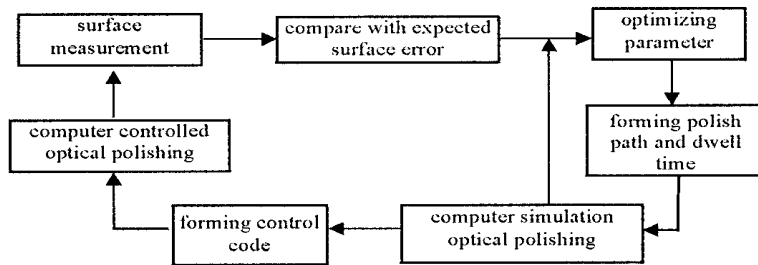


Fig. 1 Working process of CCOS

图 1 CCOS 工作过程示意图

实验使用从俄罗斯引进的 AD250 型数控抛光机, AD250 机床有 5 个坐标轴, 可使工具主轴 (z 轴) 沿 x, y 坐标移动, 工具可沿 z 轴移动, 装夹工件的台面还可以做圆周转动 (c 轴) 和倾斜 (b 轴)。工具在 x, y, z 三个坐标方向上的移动速度和距离及装夹台面的转动和倾斜都可通过计算机来控制。

该机床的工具绕 z 轴作圆环摆动 (公转), 同时在摩擦力的作用下, 工具又有自转运动。工具的自转中心到 z 轴的距离 (偏心距) 手动可调, 圆环摆动速度 (工具主轴转速) 可通过计算机控制。机床的运动示意图见图 2。

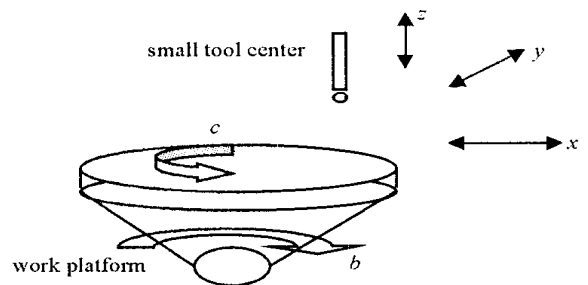


Fig. 2 Movement of AD250 machine

图 2 AD250 机床运动方式

* 收稿日期: 2003-01-07; 修订日期: 2003-06-13

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 王健 (1975-), 男, 湖北钟祥人, 工程师, 硕士生, 主要从事数控抛光技术的研究, 成都 450 信箱; E-mail: wj7130@sina.com.

机床加于工具上的压力采用气动加压,压力的大小可视工件材料、尺寸及去除量进行手动调节(在一个加工循环中,压力是恒定的)。

2 机床加工方式选择

针对机床的运动方式,结合传统加工非球面的经验,选择了两种加工驻留方式来适应不同的加工需求。具体如下:(1)当所加工的带是环带对称时,采用 c 轴高速旋转,控制磨头在不同环带位置的停留时间的方法来实现不同环带的修整;(2)当所加工环带不是对称的,或加工方型元件的角部,不允许连续整周加工时,采用 c 轴低速旋转,由其转速来控制磨头在同一环带上不同部分的停留时间,以实现同一环带上不同位置的修整。

将这两种加工方式有效地结合,理论上即可处理加工中出现的各种误差。

此外为了实现加工环带时磨头在环带上的定位,必须考虑坐标点的定位和 b 轴的角度定位相配合,实现磨头压力垂直于工件切向。

如图3, O_1 为 b 轴的转动中心,工件为一凹球面, O_1 到凹球面最低点的距离为 a ,凹球面半径为 r ,球心在 O 点。现要加工半径为 h 的一个环带。为了在加工此环带时压力垂直于表面切向,则须将工件移动到如图3右侧图所示的位置。即假如顶针位置不变,则工件应向右移动 x_0 的距离,并使 b 轴转动角度 α 。

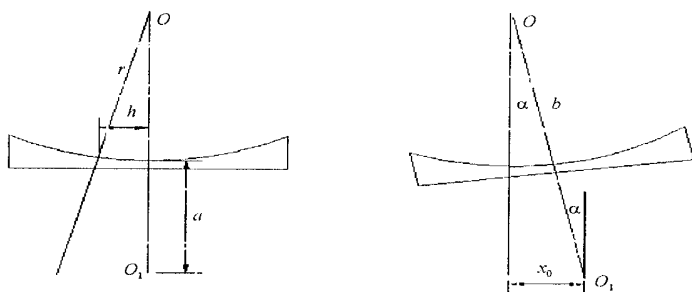


Fig. 3 Position finding during fabrication

图3 加工中的定位

根据其几何关系有

$$= \arcsin(h/r), \quad x_0 = (r+a)h/r \quad (1)$$

对于凸球面,其几何关系为

$$= \arcsin(h/r), \quad x_0 = (r-a)h/r \quad (2)$$

上面的公式是针对球面的,在实际的加工中,也是从最接近的球面抛光到非球面,抛光量一般在几 μm 到几十 μm 。因此在加工中,用最接近的球面来代替实际非球面以计算磨头的定位和 b 轴的转动,以取得计算的简便。

还应当注意的是工件在定位加工环带时,由于 b 轴的转动,加工点的垂直位置是发生了变化的,这一点与加工平面不同,应当及时调整机床 z 轴。

3 聚焦透镜参数分析

实验件是 $\phi 210\text{mm}$ 的非球面聚焦透镜,透镜的另一面是半径为 $2\,201.74\text{mm}$ 的球面,非球面的方程为

$$y^2 = 2 \times 351.109\,59 x_0 - (1 - 0.833\,66) x_0^2 + 6.509\,19 \times 10^{-4} x_0^3 + 7.068\,368 \times 10^{-5} x_0^4 + 2.788\,77 \times 10^{-6} x_0^5 + \dots \quad (3)$$

透镜的中心厚度为 $(26 \pm 0.1)\text{mm}$,焦距为 $585.107\,0\text{mm}$ 。经计算得其最接近球面的半径为 $357.979\,3\text{mm}$ 。

理论计算磨削量可以得到图4的结果,图中的横坐标为元件半径,纵坐标为由球面加工到非球面在不同半径处的加工量,由图可知其最大加工量为近 $80\mu\text{m}$ 。

4 实验中的检测光路

在实验过程中,采用了两种不同的检测方式。在加工中,采用刀口仪来检测,光路如图5;传统的加工方法采用刀口仪检测方法,最终的加工要求为弥散源 $0.010\,02\text{mm}$ 。加工的最终结果,采用平面干涉仪来检测,光

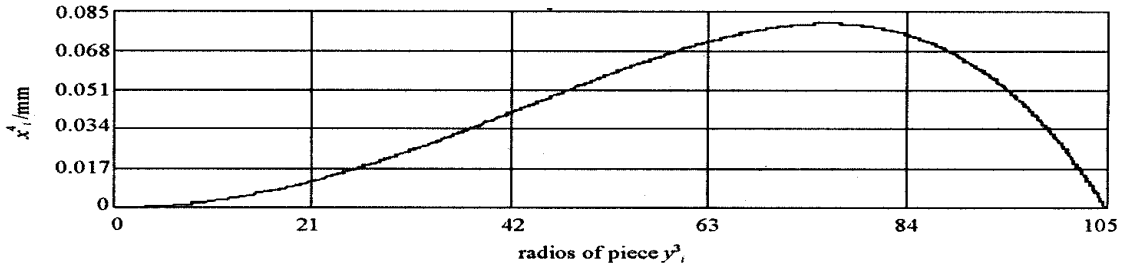


Fig 4 Theory quantity to fabrication
图 4 理论计算的磨削量

路如图 6。

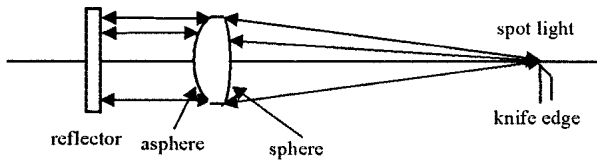


Fig. 5 Knife-edge testing setup
图 5 刀口仪检测光路

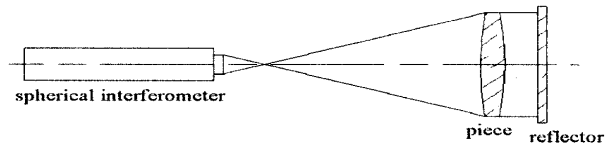


Fig. 6 Measure with interferometer
图 6 干涉仪检测光路

5 实验情况和结果

实验中用刀口检测方法。此方法可以在刀口处看到明暗的阴影从而判断出工件上的高低部分,并根据阴影的明暗程度和使阴影消失刀口所移动的距离大致判断此带的高低程度。判断出来之后,将其环带的高低位置标记在工件的表面,再通过测量得到各带的确切位置和须加工的带宽,估计各带须加工的时间。然后采用 AutoCAD 作图与自编处理软件相结合,完成半自动的数控编程。这样就方便地将检测结果转化为数控加工的控制程序。

在加工参数方面,吸收传统加工中的经验,并结合数控的特点,发现以下加工规律:数控加工采用路径设置的方法来实现对不同宽度环带的加工,即在加工中采用一个比较小的磨头,在加工宽带时用多条部分重叠的环带作为一个整体来加工;大磨头在加工工件半径 $6/10$ 以内的部分时可以得到较好的加工效果,而对 $7/10$ 和工件边缘,由于这些部分的非球面与球面的偏差较大,加工后的非球面出现了明显的球面化倾向,因此得不到满意的加工结果;偏心大小的设置首先与磨头的大小有着密切的关系^[3],一般设置为磨头直径的 $1/10$;在工件作平滑加工时,适当加大偏心的设置值有利于增强平滑效果,但增大偏心也会加大非球面的球面化趋势。

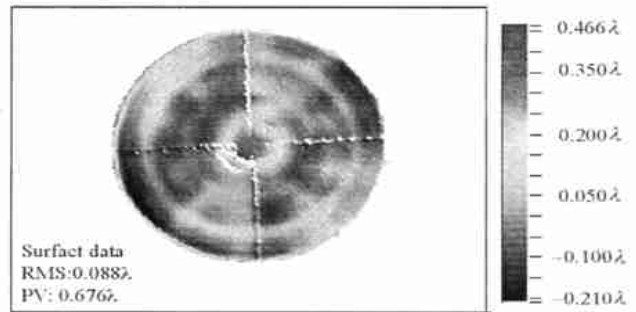


Fig. 7 Result given by interferometer
图 7 干涉仪检测结果

经过几个月的加工实验,最终加工结果采用前面图示的干涉仪测量光路进行检测,得到了更加精确的波前定量结果。这也是在聚焦透镜的评价中首次采用波前误差评价的方法。检测结果如图 7 所示,结果为两次透射波前误差,单次透射波前误差的 PV 值约为 $(1/3)$ ($= 632.8\text{nm}$)。

6 实验结果分析

作为首次尝试运用数控技术加工非球面聚焦透镜,加工效率和加工精度比传统加工方法虽然没有显著的提高,但传统非球面聚焦透镜的加工方式已被成功地移植到了数控加工中,这将为以后优化参数,进一步提高加工效率和加工精度打下良好基础。并且在检测条件成熟的情况下,如果利用干涉仪检测的定量化结果来指导数控加工控制程序的生成,将更有利于发挥数控加工定量化和稳定性重复性好的优点,这也是数控加工能够超越传统加工的基础。此外在此基础上数控加工可以发展手工难以加工的方形非球面聚焦透镜技术。

参考文献:

- [1] Zhang X J, Yu J C, Zhang Z Y, et al. Analysis of residual fabrication errors for computer controlled polishing aspherical mirrors[J]. *Opt Eng*, 1997, **36**: 3396—3391.
- [2] Xu Q, Wang J. Optimizing parameters for computer controlled polishing precision planar mirror[A]. SPIE[C]. **4231**: 156—162.
- [3] 王健,许乔,石琦凯. 石英薄板的数控加工技术[J]. 光学技术 2001, (6): 560—561. (Wang J, Xu Q, Shi Q K. Computer controlled optical finishing laminate fused silica. *Optical Technique*, 2001, (6): 560—561)

Computer controlled optical surfacing aspherical lens

WANG Jian^{1,2}, YAN Ding-yao², LI Jie², XU Qiao²

(1. *Optoelectronic Department of Sichuan University, Chengdu 610064, China;*

2. *Chengdu Fine Optical Engineering Research Center, P. O. Box 450, Chengdu 610041, China)*

Abstract: Till now the aspherical lens used for high power density laser in China were all made manually. The quality of the lens depended closely on the skill of the craftsman, but CCOS (computer controlled Optical Surfacing) technology does not have this fault. In China, research on CCOS were focused on reflected aspherical mirror and planar mirror, but not on aspherical lens. In this paper, the technology of CCOS fabrication aspherical lens is presented. This technology include analyzing the lens parameter, the style of the machine control, fabrication moving style, parameters used in the experiment, optical testing style, and the experiment achieves the desired results.

Key words: Computer controlled optical surfacing (CCOS); Aspherical; Lens