

文章编号 1004 924X(2001)03 0238-04

真空自励研磨抛光工艺的研究

张忠玉¹, 王权陡¹, 周 军², 周德俭²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130022;

2. 驻二二八厂军代表室, 吉林 长春 130012)

摘要: 详细地阐述了真空自励研磨抛光盘的工作方式、基本原理, 并在对 120×120mm 厚径比小于 1/60 的超薄镜面实际加工中, 成功解决了磨头自身重力对工件变形的影响, 降低了元件在加工中支撑要求, 有效地解决了超薄元件的数控加工难题。

关键词: 真空自励抛光盘; 超薄镜; 抛光; 数字控制

中图分类号: TQ171.684 文献标识码: A

1 引言

空间光学系统中, 元件的超薄化、高度轻量化以及离轴设计, 已得到了光学工作者的特别重视。如何利用新工艺新技术解决这些元件的加工问题, 是我们所面临的新挑战。

国际上空间光学发达的国家, 如美国、俄罗斯等早在 80 年代, 就开展了这方面的研究工作, 曾成功地解决了 2.4m 哈勃太空望远镜和 10m 抛物镜面的数控加工, 目前正着手于下一代太空望远镜 NGST 中 6m 超薄镜面的研制工作, 已取得初步的进展。长春光机所在数控加工技术的基础上, 开展了对超薄元件的研磨抛光工具及工艺技术的研究, 并将气体润滑和流体力学原理, 引入光学加工, 成功地克服了超薄镜面在加工中的传统磨头自身重力对工件表面的“施力”和“印痕”作用, 有效地提高了元件的加工精度。

2 真空自励研磨抛光的基本原理

2.1 计算机控制表面抛光 (CCOP) 的基本原理

光学表面的精细研磨和抛光受多种因素影响, 定量控制比较困难。在 1927 年由 Preston 首先提出了磨头工作的基本原理模型:

$$\Delta Z(x, y) = kP(x, y)V(x, y) \quad (1)$$

其中:

$\Delta Z(x, y)$ 为磨头与工件接触区域中某点 (x, y) 单位时间内的材料去除量;

$P(x, y)$ 为磨头与工件间的相对正压力(既加工力);

$V(x, y)$ 为磨头与工件间的相对运动速度;

k 为与加工过程有关的比例常数(温度、磨头材料等)

我们假设磨头的工作函数(去除函数)是单位工作时间内工件和磨头相互作用区域内材料平均去除量的分布函数, 用 $R(x, y)$ 表示, 则有:

$$R(x, y) = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta Z(x, y) dt = \frac{1}{T} \int_0^T kP(x, y)V(x, y) dt \quad (2)$$

T 为加工周期。再假设 $D(x, y)$ 为磨头的驻留时间函数, 它表示磨头中心在点 (x, y) 处的停留时间。这样, 如果磨头在工件表面上移动并且在表面各区域停留相应的时间, 然后将每一区域材料的去除量进行叠加即可确定整个工件表面的材料去除量的分布函数 $E(x, y)$, 即:

$$E(x, y) = \iint_{\text{path}} R(x, y) \cdot D(x - \xi)(y - \eta) d\xi d\eta \quad (3)$$

式(3)表明在 CCOP 加工过程中, 材料的去除量等于小磨头的工作函数 $R(x, y)$ 与其停留时间函数 $D(x, y)$ 沿其运动路径的卷积:

$$E(x, y) = R(x, y) * * D(x, y) \quad (4)$$

* * 表示两维卷积

这是实现 CCOP 加工过程基本的原理模型

2.2 真空自励研磨抛光的原理

2.2.1 真空自励研磨抛光的工作方式

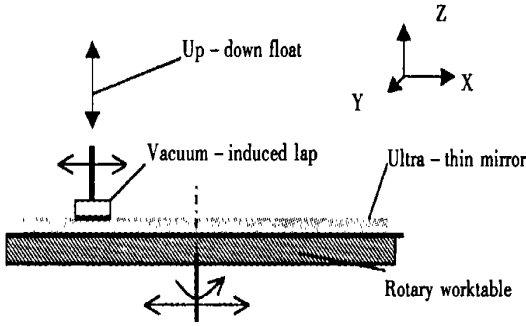


Fig. 1 Principle of fine grinding and polishing

本装置依托于 FSGJ-1 非球面数控加工中心, 自励磨头的工作方式示意图如图 1, 其中数控加工中心提供了工件的两维运动, 一是 X 方向的移动, 二是绕回转中心的转动, 满足加工过程中磨头能覆盖整个工作表面, 同时控制磨头在抛光表面每一点的停留时间。另一往复运动机构驱动自励磨头, 在一定幅度下沿 X 轴方向的往复运动, 实现磨头对表面的快速去除。实际的自励磨头研磨抛光装置如图 2:

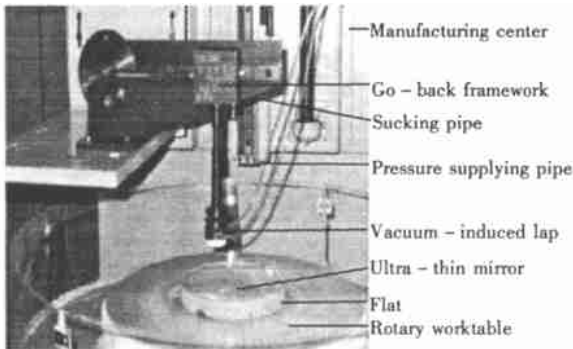


Fig. 2 Polishing device of the vacuum induced lap and aspherical manufacturing center

2.2.2 真空自励研磨抛光头的工作原理

抛光工具实现对工件表面的去除量, 与工具和工件表面间的正压力和相对速度成正比, 自励

磨头抛光是利用正压供液泵, 提供的正压力溶液通过小孔的节流作用, 在工作室与工件表面形成正压区, 并产生向上的浮力 P_i , 再由中心节流孔通过负压泵的吸附力作用, 在工作室与工件表面形成负压区, 产生向下的吸附力 P_j , 那么, 自励磨头的工作力即抛光力 P 为:

$$P = P_j - nP_i \quad (5)$$

其中: n 为多个供液孔数;

P_i, P_j 的大小可由流体力学理论, 得到准确的定量计算, 并通过调整工作泵的各自压力, 满足磨头抛光所需的合适工作力 P , 同时由往复运动机构提供磨头运动的速度 V , 从而实现元件的表面去除。其工作状态原理如图 3 所示, 不同的工具结构如图 4 所示:

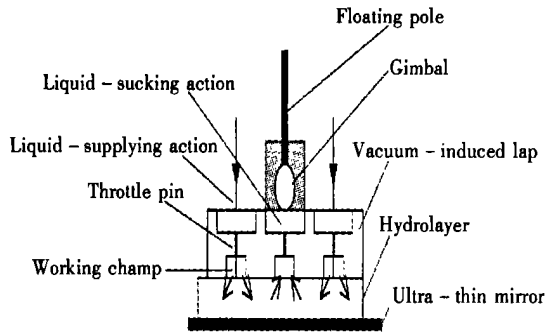


Fig. 3 Principle of lap in working processing

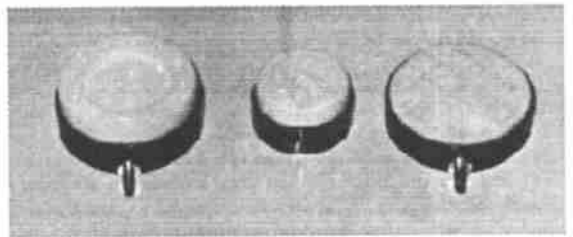


Fig. 4 Three different structures of the polishing lap

在磨头与工件之间, 由于浮力与吸附力的相互作用, 从而形成了动态的具有一定刚度和韧性的抛光液流体层, 因而使自励抛光工具具有传统工具所不同的以下优点:

(1) 自励磨头的抛光工作力为磨头和工件表面之间借助于流体层产生的内应力, 能实现磨头对工件的无应力抛光, 克服了传统磨头自身重力或外加力对超薄工件表面的重力作用和“印痕”作用, 有利于提高加工精度。

(2) 自励抛光磨头在内应力的作用下具有一定的弹性变形能力, 能使磨头表面与工件表面具有更好的吻合性, 从而达到对非球面或超薄镜面的理想去除。

(3) 自励抛光磨头与工件表面间具有一定刚度和韧性的流体层, 可实现抛光颗粒对工件表面的柔性作用, 避免传统抛光颗粒对工件的硬性滚擦作用, 最大限度的减少表面破坏层的再生。

由于自励磨头的特殊性质, 再利用数控加工中心的控制功能, 能够有效地解决传统加工方式所不能解决的对超薄镜面这一类元件的数控加工问题, 从而满足科技发展的实际需要。

3 实验结果

我们对一个 $120 \times 120 \times 1.8\text{mm}$, 厚径比小于 $1/60$ 的超薄镜面进行了实际加工实验, 元件的初始面形精度为 $0.838 \lambda_{\text{rms}}$ 如图 5 所示:

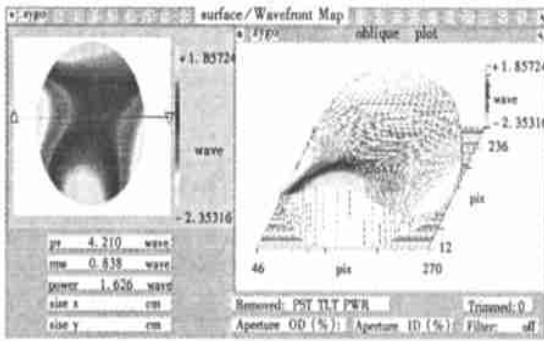


Fig. 5 Initial figure errors of the component

利用数控加工中心按图 2 工作方式, 采用自励磨头进行数控抛光, 经过 16 个加工周期后, 面形精度收敛为 $0.147 \lambda_{\text{rms}}$ 。如图 6 所示:

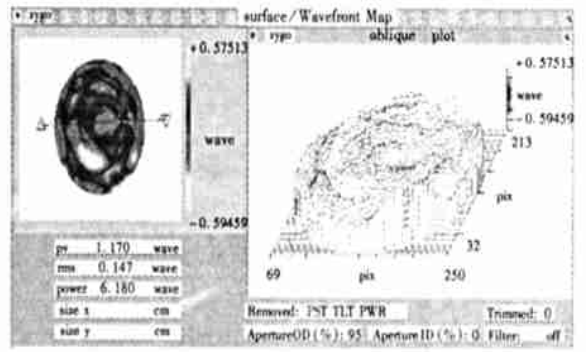


Fig. 6 Figure errors after 16 circles

再经 20 个加工周期, 最终面形精度优于 $\lambda/20 \text{ rms}$, 如图 7 所示:

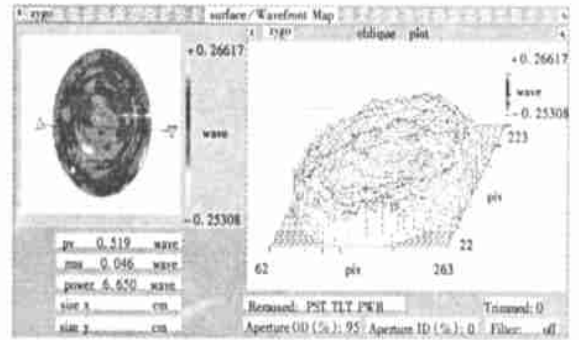


Fig. 7 Final result of the surface

4 结 论

有一定弹性的自励研磨抛光工具, 利用流体力学原理, 在磨头和工件表面之间形成具有一定刚度和韧性的抛光液流体层, 并产生内应力用做加工力, 克服了磨头自身重力对工件表面的“施力”和“印痕”作用, 提高了磨头与工件的吻合性, 降低了加工过程中元件支撑变形的要求, 有效地解决了超薄元件的数控加工难题。

参考文献:

- [1] Jones Robert A. Fabrication of a large thin off axis aspheric mirror[J]. Opt. Eng, 1994, 33(12): 4067- 4075.
- [2] Parks Robert E, Evans Chris J. Applications of the rapidly renewable lap[C]. Proc. SPIE, 1997, 3134: 240- 251.
- [3] Miller S, Burge J. A fabrication plan for ultra light mirrors for NGST[A]. in Optical Fabrication and Testing OSA 1998, Technical Digest Series[C], 1998, 12: 110- 121.
- [4] 张 峰, 余景池, 张学军, 等. 磁流变抛光技术[J]. 光学 精密工程, 2000, 7(5): 1- 8.
- [5] 王权陡, 余景池, 张 峰, 等. 数控抛光盘不同运动方式下小抛光抛光盘特性之比较[J]. 光学 精密工程, 2000, 7(5): 73- 79.
- [6] 高宏刚, 王建明. 应用纳米级金刚石抛光亚纳米级光滑表面[J]. 光学 精密工程, 2000, 7(5): 80- 84.

Polishing technology of vacuum induced lap

ZHANG Zhong yu¹, WANG Quarr dou¹, ZHOU Jun², ZHOU De jian²

(1. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

2. The Military Delegates Office to 228 Factory, Changchun 130012, China)

Abstract: The paper mainly describes the working function and basic principles of the vacuum induced polishing lap. In manufacturing a face sheet mirror in 120mm×120mm, with thickness to diameter ratio less than 1/60, the mirror deformation caused by the self-weight of polishing lap, the support requirement for processing the mirror, as well as the key problems concerning the digital control manufacturing of the ultra thin mirror have been solved successfully.

Key words: vacuum induced lap; ultrathin mirrors; polishing; digital control

作者简介: 张忠玉(1964-), 男, 吉林集安人, 1988年毕业于武汉测绘科技大学光仪系, 在长春光机所一直从事光学超精密加工和检测方面的研究工作。

《发光学报》(季刊)

——物理学类核心期刊

《发光学报》是中国物理学会发光分科学会主办的学术会刊, 由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所承办。该刊以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年和2000年连续三次被“中文核心期刊要目总览”评为物理学类核心期刊。2000年被评为中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年始; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)自2000年始已定期收录检索该刊论文。本刊内容丰富、信息量大主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为季刊, 大16开本, 100页, 国内外公开发行。国内定价: 每册9.00元。全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市人民大街140号

《发光学报》编辑部

邮 编: 130022

电 话: (0431) 5684692-2534

E-mail: fgxb@ciomp.ac.cn

国内统一刊号: CN-1116/04

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 8-173

国外发行代号: 4863Q

http://www.ciomp.ac.cn