

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0152-03

计算机控制光学表面成型变参量控制的模拟计算

程灏波¹, 郑立功¹, 张学军¹, 范镛¹, 张峰², 曹晓君¹

¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光学技术研究中心, 吉林 长春 130022

²吉林大学原子分子物理研究所, 吉林 长春 130022

摘要 由描述计算机控制光学表面成型(CCOS)的 Preston 方程出发, 针对磨头平转动加工方式, 建立了工件与磨头之间的相对运动关系。在此基础上, 模拟计算了除驻留时间以外的控制参数(磨头驱动电机转速)对 CCOS 加工质量的影响, 为进一步优化原有的数控模型、增加可控变量、从而实现大偏离量非球面的快速加工提供了理论参考。

关键词 光学技术与仪器; 大偏离量非球面; 去除函数; 平转动

中图分类号 O242.1

文献标识码 A

Controllable Variable Simulation in Computer Controlled Optical Surfacing

CHENG Hao-bo¹, ZHENG Li-gong¹, ZHANG Xue-jun¹, FAN Di¹,

ZHANG Feng², CHAO Xiao-jun¹

¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130022, China

²Jilin University, Changchun, Jilin 130022 China

Abstract In this paper, on the basis of Preston hypothesis, kinematic principles are applied to deduce the motion relationship between tool and workpiece upon the tool's motion in planar model. From that the effect on CCOS (Computer Controlled Optical Surfacing) caused by controllable variable except dwelling time is analyzed by computer simulation. Thus, provide some reference on theory to optimize the former NC model, add a controllable variant, and realize the large departure aspherics fast manufacture, so planar motion can be applied in CCOS to converge the figure error.

Key words optical technique and instrument; large departure aspherics; removal function; motion in planar model

1 引言

计算机控制光学表面成型(CCOS)思想是由美国 Itek 公司的 W.J.Rupp 在 20 世纪 70 年代初期最先提出的一种非球面成型技术^[1]。CCOS 技术的发展, 是随着计算机、精密测量、新工艺等综合技术的飞速发展而不断自我完善的过程^[2]。因此, 针对目前非球面偏离量继续加大(有时甚至可达到毫米级)的发展趋势, 为了提高这项技术的加工效率, 对它应该采取的研究方法是增加 CCOS 加工的可控变量。

计算机控制光学表面成型的基本原理是: 计算机控制一个相对于工件要小得多的磨头进行预设的

运动, 同时, 控制磨头在工件上各个加工部位的可控参量, 最终获得规定的的面型精度。采用该加工方法时, 磨头的预设运动方式直接影响到加工精度、加工去除效率以及磨头的磨损、形变情况^[3]。此外, 传统的加工方法中, 单纯地控制小磨头在工件表面不同误差区域的驻留时间, 直接影响到加工效率。在这种情况下, 开展大偏离量非球面反射镜快速加工过程中的控制参量研究, 显得尤为必要。

本研究采用仿真人手修磨时的平转动加工方式, 建立了工件与磨头之间的相对运动关系, 并且在此基础上对除了驻留时间以外的控制参量进行了模拟计算。

基金项目: 国家自然科学基金(60108003)、国家杰出青年基金(69925512)资助课题。

作者简介: 程灏波(1979.2-), 男, 吉林省吉林市人, 博士研究生, 主要研究方向为光学加工及检测技术。

E-mail: chenghaob@yahoo.com.cn

2 变参量加工的基本原理

描述材料去除量与其影响因素之间关系的数学模型是 Preston 方程

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

式中 $\Delta Z(x,y)$ 为磨头与工件接触区域某点 (x,y) 在单位时间内的材料去除量; $P(x,y)$ 为磨头与工件间的相对压力; $V(x,y)$ 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、工件材料、磨料等)。如果保持加工磨具的作用压力恒定, 则对于被加工工件表面上任意一点 (x,y) , 加工磨具的作用驻留时间为一定时, (x,y) 点的材料去除量主要取决于磨头在该点作用期间的相对速度的变化。经过推导, 工作表面 (x,y) 点的材料去除量 $E(x,y)$ 符合如下双卷积方程

$$E(x,y) = \int_{\text{path}} R(\xi,\eta)V(x-\xi,y-\eta)d\xi d\eta \quad (2)$$

式中 $R(\xi,\eta)$ 代表单位转速下工件与磨头接触区域内材料平均去除量的分布特性函数, $V(x-\xi,y-\eta)$ 为磨头与工件间相对运动速度变化函数。

3 去除函数数学模型

3.1 磨头预设运动方式的优化

Itek 公司的 R. A. Jones 在大量实验的基础上, 提出 CCOS 小磨头应采用行星运动方式以获得较为理想的工作函数分布曲线。行星运动方式采用双电机驱动小磨头, 小磨头本身自转, 又围绕另一回转轴公转。为了跟踪非球面的曲率变化, 小磨头与自转轴之间采用球铰链连接, 自转轴采用浮动结构。在中国科学院长春光学精密机械与物理所第一代非球面数控加工中心 FSGJ-1 的实际使用中, 发现行星运动方式的工作函数虽然有强中心分布, 但是其分布曲线与高斯分布存在一定的差异, 主要是产生了一个明显的“肩部”, 存在一定范围的次强分布, 如图 1 所示。

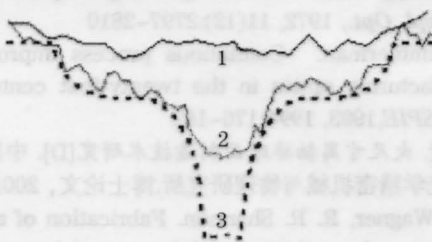


图 1 行星运动加工特性曲线图

Fig.1 Material removal feature of planet motion. 1: original figure; 2: figure after polishing; 3: desired figure

另外, 由于自转中心与小磨头边缘的线速度存在较大的差异, 磨头磨损量不均, 使工作过程中磨头工作函数产生较大的变化。为此, 对磨头预计运动方式进行了优化设计, 提出了平转动加工方式。图 2 给出实现该运动方式的磨头平转动机构, 图 3 为其运动原理分析图。

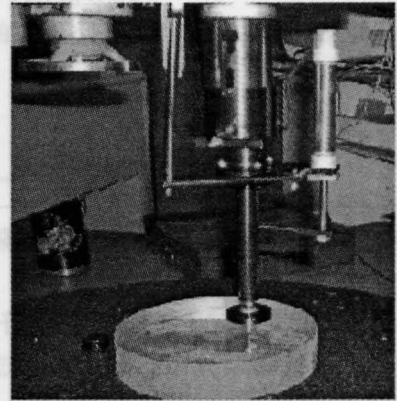


图 2 平转动机构照片

Fig.2 Photo of planar setup

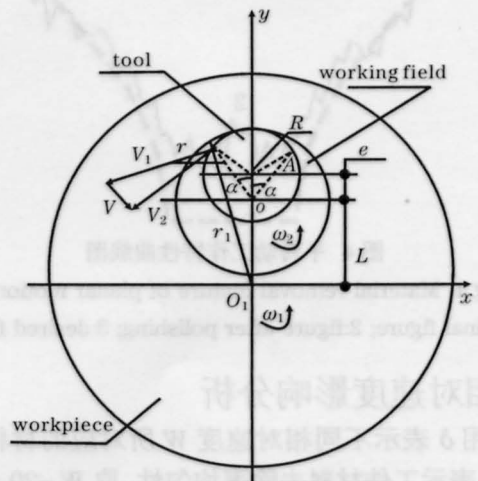


图 3 平转动运动原理分析图

Fig.3 Kinematics of planar mode

图中, 磨头半径为 R , 偏摆量为 e (可调), 磨头在一个作用周期内所覆盖的工件表面区域为以 $(R+e)$ 作半径、以 O 点为中心的圆域。

3.2 基于相对速度的去除函数模型

基于上述分析, 工件与磨头间的相对速度是直接影响材料去除率的一个关键因素。建模过程中, 令工件以 W_1 速度旋转(旋转中心为 O_1), 磨头驱动电机以 W_2 速度同向旋转(旋转中心为 O); 图 3 中, L 为加工区域中心与工件中心间距离, 在一次加工周期内, 视为一定; A 为工件加工区域半径 r_1 处一点, 则 A 点的相对加工速度为

$$V = \begin{vmatrix} V_2 - V_1 \\ V_1 - W_1 r_1 \\ V_2 - W_2 r \end{vmatrix} \quad (3)$$

经过推导,有

$$V = [(W_1 r_1)^2 + (W_2 r)^2 - W_1 W_2 (2r^2 + 2rL \cos \alpha)]^{1/2} \quad (4)$$

令 $W = W_2 / W_1$ (5)

在 $\Delta A O_1 O$ 中,有

$$\begin{vmatrix} r_1 = (r^2 + L^2 + 2rL \cos \alpha)^{1/2} \\ \alpha \leftarrow W W_1 t \end{vmatrix} \quad (6)$$

联立(4)~(6)式,有

$$V = W_1 \{ (Wr)^2 - W[2r^2 + 2rL \cos(WW_1 t)] + r^2 + L^2 + 2rL \cos(WW_1 t) \}^{1/2} \quad (7)$$

则在任意加工周期内,半径 r 处 A 点的去除函数为

$$R(r) = \frac{kP \int_0^T V dt}{V \leftarrow W_1 \{ (Wr)^2 - W[2r^2 + 2rL \cos(WW_1 t)] + r^2 + L^2 + 2rL \cos(WW_1 t) \}^{1/2}} \quad (8)$$

在工件转速一定情况下,材料去除量随 r 变化。其工作特性曲线如图 4 所示。

可见在加工区域中心出现强峰值,符合工作函数为强中心峰值的高斯分布函数时迭代过程收敛^[4]的理论。

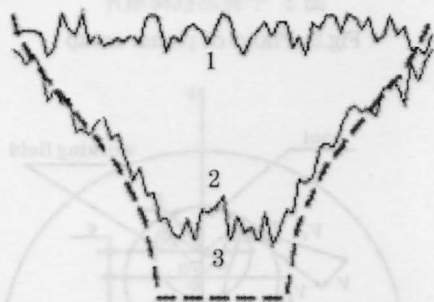


图 4 平转动工作特性曲线图

Fig.4 Material removal feature of planar motion. 1: original figure; 2:figure after polishing; 3:desired figure

4 相对速度影响分析

用 δ 表示不同相对速度 W 所对应的材料去除率, Δ 表示工件材料去除率均匀性,取 $W_1 = 20$ r/min,图 5 中给出二者之间的关系。

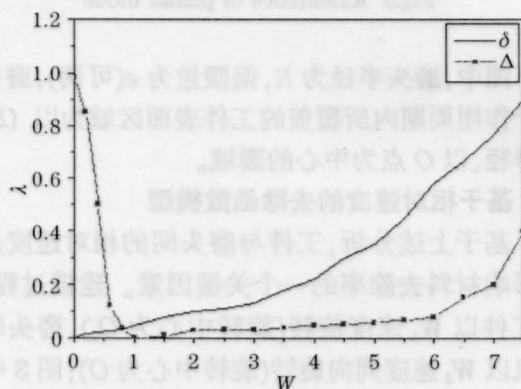


图 5 材料去除率与去除均匀性关系
Fig.5 Relationship of δ and Δ

由图 5 可见,材料去除率 δ 随 W 的提高呈不断上升趋势,但是这并不意味着可以一味地提高 W 以追求去除率。事实上,在变相对速度过程中,相对速度比 W 在一定范围内对工件表面材料的去除均匀性有较强的影响,当 $W < 1$ 时,随 W 下降,去除量不均匀性有所增加;当 $W > 1$ 时,随 W 增加,去除量不均匀性亦有所增加。在 $0.8 < W < 1.2$ 范围内寻求最优,发现当 $W = 1.0$ 时最好,但是,从去除效率角度考虑,在加工过程中,针对于不同的残余加工量,应该设计不同的 W 。通过对图 5 作进一步分析,发现,当 $W \leq 0.8$,以及 $W > 7$ 时,去除不均匀性显著,所以,综合考虑,得出 W 的可控范围

$$0.9 < W \leq 6 \quad (9)$$

5 分析与讨论

在 Preston 假设方程的基础上,明确提出采用基于改变相对加工速度的方法进行大偏离量非球面快速加工,并且讨论了平转动方式下磨头的去除函数以及工作特性曲线。发现在运动回转中心材料的去除量达到最大,有利于后期计算机控制面形误差的收敛。

参考文献

- 1 W. J. Rupp. Loose abrasive grinding of optical surfaces [J]. *Appl. Opt.*, 1972, 11(12):2797~2810
- 2 J. Zimmerman. Continuous process improvement: manufacturing optics in the twenty-first century [C]. *Proc. SPIE*, 1993, 1994:176~182
- 3 王权陡. 大尺寸离轴非球面制造技术研究[D]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所. 博士论文, 2001
- 4 R. E. Wagner, R. R. Shannon. Fabrication of aspherics using a mathematical model for material removal [J]. *Appl. Opt.*, 1974, 13(7):1683~1689