

数控光学成形的计算机模拟及工艺实验

张学军

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文详细介绍了以控制磨头驻留时间为基础的 CCOS 基本原理、计算机模拟软件和工艺实验, 为 CCOS 数控机床的设计提供了理论参考和实验依据, 同时也提供了 CCOS 计算机模拟的实用软件及合理的工艺参数, 为进一步研究这一技术打下良好的基础。

关键词: 数控光学成形; 计算机模拟; 工艺实验

1 简介

计算机控制光学表面形(Computer-Controlled Optical Surfacing, 简称 CCOS)是七十年代初发展起来的一门新兴光学加工技术, 它利用计算机控制一个比被加工工件小得多的研磨或抛光头在工件表面上移动, 通过控制磨头与工作间的相对运动速度, 压力以及磨头在表面某一区域的停留时间来实现对材料去除量的控制。由于计算机数据处理速度快、控制准确、记录可靠, 因此可以大大提高工作效率及加工质量, 降低对操作人员技术的依赖性, 所以具有广阔的发展前景。目前国外应用这一技术已经加工出各种大口径精密光学表面, 包括手工难以加工的对称或非对称的非球面。

应用该技术形成一个高精度的光学表面经过以下几个步骤: (1) 由自动检测系统进行快速面形检测, 获得面形误差分布的数据并进行分析; (2) 将数据输入计算机进行加工过程的计算机模拟, 选择工艺参数和磨头的运动参数, 预计加工后的面形及所需的时间; (3) 将计算机模拟所得的参数传给数控机床执行加工。经过几个加工周期后再进行面形检测, 若结果不理想则重复第(2)步重新选择控制参数执行加工直到结果满意为止。

2 CCOS 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:

$$dz/dt = KPv \quad (1)$$

K 为与加工条件及材料性能有关的系数;

P 为磨头与工件间的压力;

V 为磨头与工件的相对运动速度。

我们定义磨头的工作函数 $R(x, y)$ 为磨头覆盖区域内材料去除量的分布函数：

$$R(x, y)P \int_0^T V(x, y, t) \cdot P(x, y, t) dt$$

T 为加工周期。

定义 $D(x, y)$ 为磨头中心在表面上任一点 (x, y) 周围区域的驻留时间函数, 并考虑当小磨头与工件表面吻合良好且加工过程中不露出工件边缘时压力 P 为常量, 这样在工件表面上移动磨头并在每一区域停留相应的时间, 然后将各区域材料去除量叠加起来即可确定整个表面的材料去除量:

$$Z(x, y) = R(x, y) * * D(x, y) \quad (2)$$

* * 表示两维卷积。

(2)式就是 CCOD 计算机模拟的最重要的理论依据。

3 磨头机械结构设计的依据

利用(2)式进行的模拟计算机以及实际加工结果表明, 工作函数 $R(x, y)$ 的曲线形状对加工结果影响很大, 一般认为具有中心峰值的工作函数曲线能促进面形误差不断向终极目标收敛, 所以实际加工当中都采用这种工作函数。工作函数的曲线形状主要由磨头的运动方式决定, 如图 1 所示, 本文采用复合转动的运动方式来产生具有中心峰值的工作函数曲线。通过模拟计算机和工艺实验得到一组合理的磨头运动参数, 其中偏心距 e 为 $(0-20)$ mm 可调, 磨头直径为 $(10-60)$ mm, 主轴转速为 $(10-500)$ rpm。以上参数为 CCOS 磨头的机械结构设计提供了依据。磨头的机械结构示意图如图 2 所示。

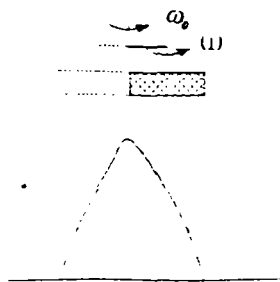


图 1 磨头运动示意图

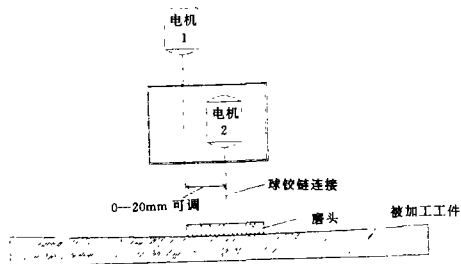


图 2 磨头结构示意图

4 CCOS 的计算机模拟

数控成形的一个最为显著的特点是它能利用计算机模拟程序进行工艺参数的选择和加工效果的预测。可以说计算机模拟是实现 CCOS 所必不可少的步骤, 该部分的准确程度和计算效率将直接影响到 CCOS 成形的精度及加工效率。本文在基本理论的基础上, 着重研究解决了 CCOS 计算机模拟当中的两个关键问题: “边缘效应”和计算效率的提高。

4.1 “边缘效应”的消除

在实际加工当中,由于磨头部分露出工件表面使得工件边缘区域的加工条件不同于中间区域,从而造成模拟计算出的磨头在边缘区域的驻留时间不再准确,这就是所谓的“边缘效应”。我们首先分析了磨头工作函数在边缘区域的变化以及边缘区域材料去除量的变化规律,在此基础上得到了磨头在边缘区域驻留时间函数的修正函数,通过修正改善了由于磨头露边所引起的边缘材料去除量与中间区域的差别从而消除了“边缘效应”。修正结果如图3所示,修正后边缘材料去除量的误差控制在 $\pm 20\%$ 以内。

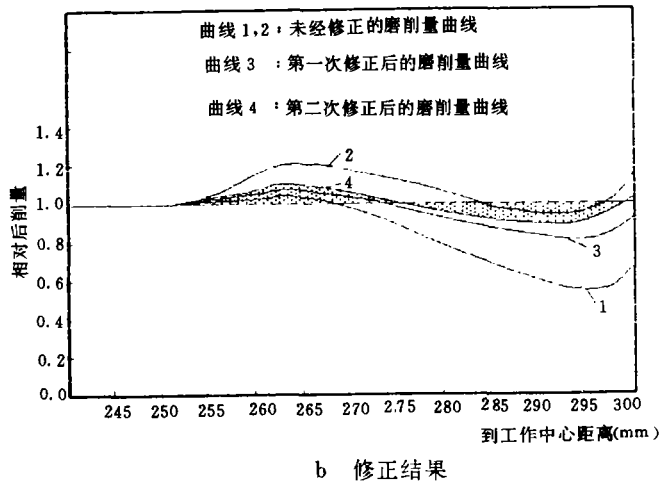
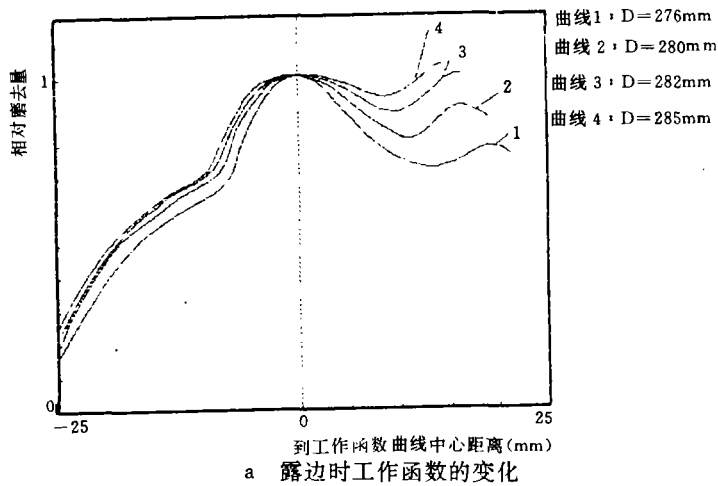


图3 边缘材料去除量的修正

4.2 提高模拟计算效率的新算法

由 CCOS 计算机模拟的基本原理可知,模拟部分的运算量集中在利用卷积迭代法计算驻留时间上。由于卷积运算特别是二维卷积的运算是很费时间的,所以若不对原有算法进行改进势必会必低 CCOS 的加工效率。本文利用面形误差的拟合原理及卷积的性质对原算法进行了改进,将卷积运算转化为乘积运算。改进后算法的计算速度比原来快了十几倍从而大大提高了加工及检测的效率。

4.3 模拟控制软件的编制

在上述理论分析及新算法的基础上,我们利用 Microsoft C 6.0 编制了一套 CCOS 模拟控

制软件,利用它可以对 CCOS 的加工过程进行模拟,可自动选择工作函数、预计加工后的面形、确定所需加工周期及所能达到的精度,并且产生控制文件给数控机床执行加工 QQ。软件可以有效地支持 CCOS 的加工及检测,并为机床数控系统的设计提供了依据。模拟结果表明对于 $\varnothing 600\text{mm}$ 原始误差为 1.0647λ RMS 的工件来说经过十几加工周期可使其面形误差收敛到 $\lambda/20$ RMS,其结果如图 4 所示。

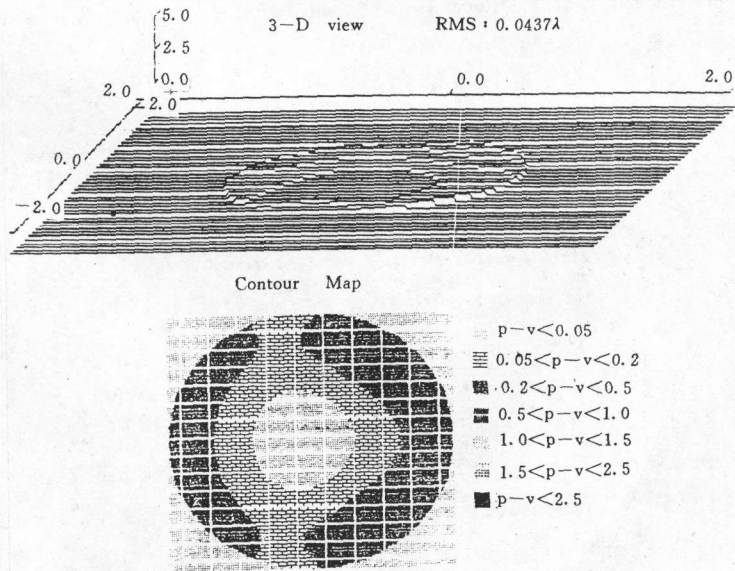
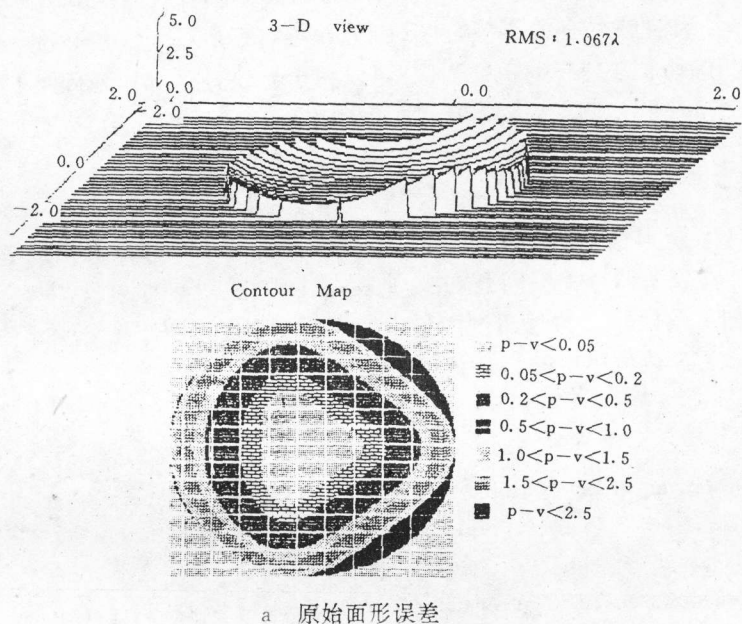


图 4 模拟结果显示

5 CCOS 的工艺实验研究

计算机控制成形是一个实践性较强的课题,每提出一个理论都要经实验验证。本文通过大量工艺实验证明了 CCOS 基本原理的正确性,同时确定了几十种玻璃材料的相对研磨硬度及其中几种的绝对硬度,并对 CCOS 精磨阶段材料表面破坏层深度进行了研究。这些工作为预计 CCOS 的绝对加工时间打下了基础,经实验可以初步确定对于 $\varnothing 600\text{mm}$ 原始误差为 1.0647λ RMS 的 K9 玻璃工件来说一个加工周期后其面形误差收敛到 0.8742λ RMS 大约需要 12 小时,这一结论符合国外有关资料的报到。另外还确定了 CCOS 精磨阶段的最佳工艺规范,在此规范下可以得到非常理想的精磨表面,可以用干涉仪直接对其进行面形检验,从而大大简化了 CCOS 精磨阶段的检测工作,提高了加工效率。

6 结 论

本文在 CCOS 基本理论的基础上,着重研究解决了 CCOS 计算机模拟中的“边缘效应”及如何提高模拟计算效率两个关键问题,并在此基础上编制了模拟控制软件,应用它可以有效地支持 CCOS 的加工及检验。另外通过大量工艺实验确定了 CCOS 精磨阶段的最佳工艺规范。以上工作还为 CCOS 数控机床的设计提供了依据。

参 考 文 献

- [1] Robert. A. Jones, Grinding and Polishing with Small Tools Under Computer Control. SPIE, 1979, 171
- [2] Robert. A. Jones, Computer — Controlled Optical Surfacing with Orbital Tool Motion. Optical Engineering, 1989, 25(6)
- [3] A. P. Semenov, A. S. Savelev, M. A. Abdulkadrov, Analysis of Errors of Automated Shaping of Optical Surfaces on the AD Series Machines Using the AD1 Program. Sov. J. Opt. Technol, 1990, 57(1).
- [4] Paul Hed and David F. Edwards, Optical Glass Fabrication Technology 2: Relationship Between Surface Roughness and Subsurface Damage. Applied Optics, 1987, 26(21)
- [5] 余景池, 由干涉图计算波差和传递函数. 光学学报, 1984, 4(9)

Computer Simulation and Technology Experiment for CCOS

Zhang Xuejun

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper deals with the basic theory, computer simulation algorithm as well as the technology experiment of CCOS based on controlling the tool's dwell time. It provides design references for CCOS NC machine both in theory and experiment, and also gives utility software and reasonable technology parameters for CCOS process. The work in this paper may lay a foundation to the deep study of CCOS technique.

key words: CCOS, Computer simulation, Technology experiment