

# 五轴数控工具磨床热变形控制策略研究

冯伟, 张祥雷, 吕颖

(厦门大学 物理与机电工程学院 福建 厦门 361005)

**摘要:**对五轴数控工具磨床进行热变形的控制是提高其加工精度的关键。在指出五轴数控工具磨床的主要热源后,分析了机床热变形对其加工精度的影响。综合误差防止与误差补偿两种方法提出了五轴数控工具磨床热变形控制的策略。

**关键词:**五轴数控工具磨床;加工精度;热变形;控制

中图分类号:TH 161

文献标志码:A

文章编号:1002-2333(2014)01-0125-03

## Thermal Deformation Control Strategies for a 5-axis CNC Tool Grinder

FENG Wei, ZHANG Xianglei, LU Ying

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Control of thermal deformation of 5-axis CNC tool grinder is imperative to improve its machining accuracy. The main heat sources are pointed out in this paper. The influences of grinder thermal deformation on machining accuracy are analyzed. Finally, some thermal deformation control strategies of 5-axis CNC tool grinder are proposed.

**Key words:** 5-axis CNC tool grinder; machining accuracy; thermal deformation control

## 0 引言

高效和高精度是现代制造业的重要特征,发展高效高精度的数控机床是各国制造业都在努力的目标。五轴数控工具磨床作为一种制造精密、复杂形状刀具的关键工艺装备,对于机床的加工精度提出了更高的要求。一般来说,影响数控机床精确度的因素主要有几何误差、热误差及力误差等<sup>[1]</sup>。研究表明,由于机床热变形造成的

基金项目:国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项资助(2010ZX04001-162)

热误差占到了机床总误差的40%~70%<sup>[2]</sup>。因此,对于五轴数控工具磨床而言,如何有效的控制机床的热变形是必须要解决的一个关键问题。

## 1 机床热源分析

图1是一台五轴数控工具磨床的简化模型,该机床由床身、卧式回转工作台、立式回转工作台、头架、尾架、高精度两坐标直线工作台、砂轮架、修整器等部件组成,经分析其主要热源是磨床的磨头、直线电机和液压系统。

滚珠丝杠导程  $P=16\text{ mm}$ , 进给速度  $V_s=n_2'P=(2.54\sim 190)\text{ mm/s}$ , 故进给最低速度  $V_{\min}=2.54\text{ m/min}$ , 退出时最大速度  $V_{\max}=190\text{ mm/min}$ 。

### 【参考文献】

- [1] KENTA K, MASYUKI M. Design consideration of non-contact feeding system[C]//2010 International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS2010:1763-1766.
- [2] LEE Kangsoo, JUNG Jaehae, KEEL Sangin et al. Design and characterization of an improved screw-assisted rotary feeding system for aerosolization of ultra-small quantities of particulate solids[J]. Aerosol Science and Technology, 2010, 44(7): 563-569.
- [3] LOY M, REINHART G. A new modular feeding system and its economic scope of application [J]. Production Engineering, 2010, 4(4): 357-362.
- [4] HANG Liang, WU Weizhong, ZHANG Qian et al. A study on the structural design and driving technology of decoupled vibratory feeding system [C]//19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, M2VIP 2012: 253-258.
- [5] STEFAN B. Feed-drive system with a permanent magnet linear

motor for ultra precision machine tools[C]// Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 1999: 821-826.

- [6] 李军. 互换性与测量技术基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011.
- [7] 杨帮文. 直线传动技术与设备选用手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [8] 机械设计手册编委会. 机械设计手册: 弹簧、摩擦轮及螺旋传动、轴[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [9] 杨可桢, 程光蕴, 李仲生. 机械设计基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [10] 旭岩. 国外石材行业用金刚石串珠绳锯的发展与现状(一)[J]. 石材, 2005(6): 38-44.
- [11] 国外石材行业用金刚石串珠绳锯的发展与现状(二)[J]. 石材, 2005(7): 12-16.
- [12] 廖原时. 金刚石串珠绳在饰面石材生产中的应用技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009. (编辑: 吴天)

作者简介: 宋金玲(1963—), 教授, 研究方向为数字化设计与制造。

收稿日期: 2013-11-03

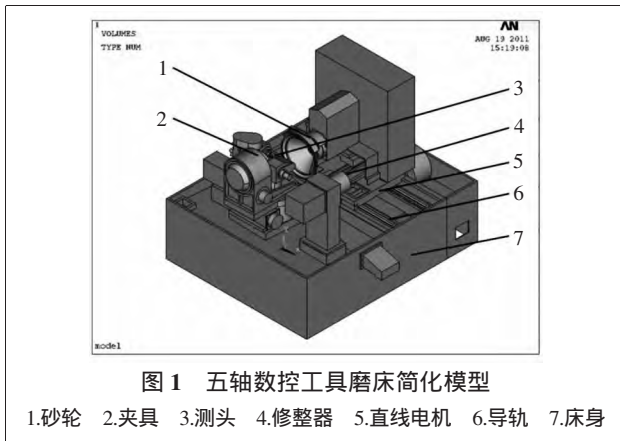


图1 五轴数控工具磨床简化模型

1.砂轮 2.夹具 3.测头 4.修整器 5.直线电机 6.导轨 7.床身

## 2 机床热变形及对加工精度的影响

机床工作时在内外热源的影响下,其各部分温度将发生变化,由于热源的不均匀分布和机床结构的复杂性,机床各部件将产生不同程度的热变形,从而引起加工精度的下降<sup>[3]</sup>。

图1中砂轮轴电机、轴承产生的热量会使砂轮主轴产生热膨胀,造成主轴的轴向伸长。主轴的热伸长,会直接造成磨削刀片的径向尺寸误差。磨头前后轴承发热不均,使得磨头前面高于后面,从而造成刀片的几何形状误差。磨床的头架经过一段时间的运转而发热,会造成头架的变形。

在磨削刀片的时候,采用头、尾架顶尖进行定位,此时头架主轴中心产生的热位移会造成头架和尾架的中心连线与导轨不平行,进而影响到加工刀片的几何精度。另外,床身后受热不均也会造成其导轨产生热变形,从而影响到机床的加工精度<sup>[4]</sup>。

## 3 机床热变形控制策略

由上面的分析,五轴数控工具磨床的热变形会造成机床加工精度的下降,必须采取有效的措施进行控制。控制机床热变形,提高机床加工精度有两种基本的方法<sup>[5]</sup>:误差防止和误差补偿。误差防止是指通过设计、制造和装配的途径去消除或减少可能的误差源。误差补偿是人为地造出一种新的误差去抵消当前产生的误差。下面综合两种方法提出五轴数控工具磨床热变形控制的策略。

### 3.1 优化机床结构设计

通过优化机床结构和减少热源来减少机床热变形的影响,对机床结构的热刚度进行优化设计,采用机床热对称结构,把最影响加工精度的零部件配置在热对称面上。同时,尽可能把电机、液压装置和油箱等热源从机床主体中分离出去,并通过提高主轴质量、改善导轨结构等途径减少运动部件的摩擦发热。

### 3.2 强制冷却均衡温度场

采用风冷、水冷、油冷等对内热源进行强制冷却的措施,尤其要打破砂轮高速旋转产生的气障层以迅速地将大量热量散开,减少或消除机床内部热源的影响。机床可采用高压油冷却,并配有可调节回路

油的温控箱。应用热管技术将机床结构的不对称温度场转化为对称分布,从而起到快速散热和均衡机床温度场的目的。

### 3.3 控制环境温度

机床热变形不仅受到电机、轴承等内部热源的影响,也受到环境温度、日光、灯光等外部热源的影响。在精密机床制造和精密加工领域,环境温度对于机床热变形的影响不能忽视。通常采用建立恒温车间的方法进行季节性调温,或者进行喷油冷却来控制环境温度,以保证精密加工与装配环境不受环境温度的变化。

### 3.4 误差补偿

误差补偿技术作为一种“软技术”,近年来得到了很大的发展和推广,在国内外很多数控机床上都应用了误差补偿技术。在批量生产中,只需测出加工后的工件尺寸,就可对下一次加工用量进行补偿。随着数控机床的大量应用,相应地产生了热误差数控补偿技术,通过分析机床热误差变化规律,建立热误差补偿的数学模型,利用布置在机床上的传感器实时测量机床的温度和热变形,就可以实现机床热误差的动态补偿<sup>[6]</sup>。

建立鲁棒性强的热误差模型是热误差补偿的一个关键,目前已经发展了多元线性回归、神经网络等多种热误差模型。在实施误差补偿的时候,要考虑到数控系统的限制。对于西门子、发那科、海德汉等高档数控系统都带有误差补偿的功能以供用户使用,对于没有提供补偿功能的数控系统,在条件允许的情况下则可以考虑嵌入误差补偿模块。

## 4 结论

本文在分析五轴数控工具磨床热源的基础上,讨论了机床热变形对加工精度的影响,并综合考虑误差防止与误差补偿两种方法提出了机床热变形的控制策略,本文所提供的热变形控制策略同样适用于其它类型的机床。

### [参考文献]

- [1] RAMESH R, MANNAN M A, POO A N. Error compensation in machine tools—a review Part I:geometric,cutting-force induced and fixture-dependent errors [J].International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, 40:1235-1256.
- [2] BRYAN J.International Status of Thermal Error Research [J].Annals of the CIRP, 1990, 39(2):645-656.
- [3] 陈兆年,陈子辰.机床热特性学基础[M].北京:机械工业出版社,1989.
- [4] 张文玉,邹济林.磨床热变形的控制与防止[J].精密制造与自动化, 2002(2):35-39.
- [5] 倪军.数控机床误差补偿研究的回顾及展望[J].中国机械工程, 1997(1):29-33.
- [6] 杨建国,姚晓栋.数控机床误差补偿技术现状与展望[J].世界制造技术与装备市场, 2012(3):64-71. (编辑明涛)

作者简介:冯伟(1981—),男,博士研究生,研究方向为机床误差补偿。  
收稿日期:2013-10-30