

新型变切深镗削系统的研究

刘新辉, 陈志华, 李圣怡

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 417003)

摘要: 在总结国内外变切深镗削技术研究现状的基础上, 提出一种新的变切深镗削技术, 并对智能镗杆的总体结构、微进给机构、控制方法等方面进行了具体的介绍。

关键词: 压电陶瓷; 非圆; 微进给

中图分类号: TG801 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2007)S1-0222-03

Research on the novel variable depth of the cut boring system

LIU Xin-hui, CHEN Zhi-hua, LI Sheng-yi

(Mechatronics and Automation School of National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Based on the analysis of the domestic and abroad research on the technology of the variable depth of the cut boring system, a novel intelligent boring bar is developed. The whole configuration, micro-feeding device, and control method of the intelligent boring bar are introduced in detail.

Keyword: piezoelectric actuator; noncircular; micro-feeding

变切深镗削技术是指在镗削过程中镗刀具有快速改变切深的技术。其核心部件是变切深微进给伺服机构, 它应该有快速响应的特性。变切深镗削技术在非圆孔加工、误差补偿、振动抑制方面有良好的应用前景。从所收集的资料来看, 在实际应用中有采用机械靠模和液压装置来实现变切深加工的案例, 而有关数控变切深镗削技术的研究还主要处于科研院所内, 在完全走向市场之前还有众多的难点问题有待解决。在数控变切深镗削技术上研究较早和比较成熟的应算德国Fraunhofer生产技术研究所以研制的智能镗刀^[1-3]以及美国Michigan大学研制的智能敏捷镗削工作站^[4-6]。两者的变切深微进给机构都处于镗杆内, 并采用压电陶瓷驱动。上述两款智能镗杆具有频带宽, 行程小的特点, 主要用来进行误差补偿和振颤抑制。由于上述镗杆内集成了多个传感器, 使得镗杆的径向尺寸较大, 因而只适合用来加工孔径较大的孔洞。近年来, 国内开始研究变切深镗削技术^[7-9], 其重点主要放在异形销孔的加工技术上面。从发表的文献来看, 目前主要的研究还处于方案论证和原理性实验上, 还特别缺少对信息和能量传递方面的研究, 也未见样机的详细报道。从公布的实验数据来看, 还存在变切深微进给机构行程偏小, 响应频带宽度不够的问题, 所研究的变切深镗杆只能完成一些简单异形孔的加工。针对上述问题, 笔者提出一种新型变切深镗削加工技术实现方案, 旨在满足可以适合多种孔径和一定复杂程度的异形孔加工。

1 变切深镗削加工系统实现方案

1.1 变切深镗削加工系统的总体结构

图1是变切深镗削系统总体结构示意图。主要由两部分组成: 一个部分安装在主轴内部, 随主轴作旋转运动; 另一部分是在静止的控制柜内, 包括主机和机床接口电路等。两部分通过无线接口天线通讯。主轴内部的编码器用于测量主轴相对于床身的转角, 用来为控制镗刀作径向进给提供主轴角向位置信号。发电机用于给主轴内部电路供电。主轴内部装有蓄电池, 用于调节主轴内部电量供需不平衡的矛盾。发电机和编码器的定子固联在机床床

收录日期: 2007-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(0575223)

作者简介: 刘新辉(1971-), 男, 国防科技大学博士研究生。

身上，且其轴心线与主轴重合；发电机转子绕组与主轴固联。这样，当主轴旋转时，发电机就能发电以供给主轴内的用电路，同时，编码器能测量主轴相对机床床身的转角，并报告给下位机。下位机包括 CPU、内存和控制电路。下位机的任务有两个：(1) 负责与主机的通信，即通过无线接口接受来自主机的命令，并把主轴内部状态通报给主机；(2) 作为快速伺服镗刀的控制器，通过驱动电路，给压电陶瓷施加电压，使压电陶瓷产生变形，从而使镗刀刀尖相对于主轴中心线的偏移量发生变化。主轴内部装有位置传感器和速度传感器，用来检测被控对象（即变形体镗头）的状态，并将之输入到下位机，构成闭环控制系统。

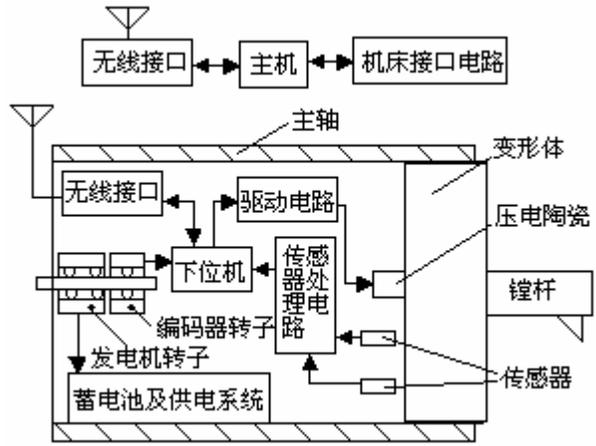


图1 变切深镗削系统总体结构示意图

1.2 非圆曲面成形原理

变切深镗削技术的一个重要应用就是非圆截面孔的加工。图2是非圆孔镗削的原理性框图。首先，编程人员根据加工工艺图纸将非圆孔的截面形状以极坐标的方式输入到主机中，主机经过计算后形成了一个镗刀刀尖偏移量 s 与转角 θ 关系的查找表 $s = f(\theta)$ 。然后，主机通过无线传输方式把这个查找表下载到下位机的内存中。镗削时，主机控制机床的主轴旋转，主轴内编码器检测主轴的转角 θ ，下位机 CPU 根据转角 θ 和位移转角关系表 $s = f(\theta)$ 输出控制指令，再由刀尖位移伺服机构驱动刀尖到达指令位置。在上述过程中，只要整个闭环控制系统的响应足够快，刀尖的轨迹就是图纸要求的非圆轮廓。

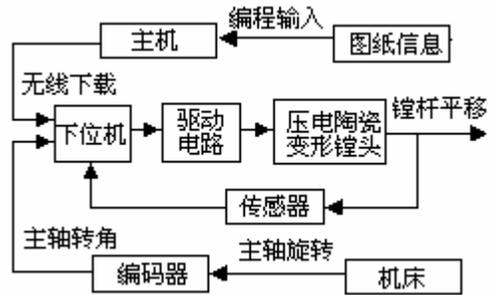


图2 异形孔镗削原理框图

2 变切深微进给机构设计

变切深微进给机构的物理模型如图3所示。由图3可知，变切深微进给机构由压电陶瓷、变形体镗头和镗杆组成。其中，压电陶瓷作为换能器，负责将电能转换为机械能，将电信号转换为机械位移信号。变形体镗头构成变切深微进给系统中的运动传递部件，其作用是在有外界干扰（如切削力、惯性力）的环境下尽量准确无误的将压电陶瓷输出的位移和能量传递给镗杆。镗杆是微进给机构的执行部件。变形体镗头由杠杆和平行簧组成。其中杠杆负责将压电陶瓷的轴向进给转换为径向进给，还可根据需要将信号适当放大，使得当压电陶瓷施加最大允许电压时，压电陶瓷的位移输出正好达到最大位移设计指标，可以保证获得变形体最大刚度，从而使得压电陶瓷性能得到尽可能的利用。平行簧保证在杠杆的驱动下使镗杆只产生平移而不发生转动。变形体镗头内部杠杆通过柔性铰链分别与支座和平行簧相连。由于柔性铰链的采用，使得变形体镗头在传递运动时无相对运动、无摩擦、磨损，具有发热小，可靠性高，稳定性好等优点。在压电陶瓷与杠杆之间引入一钢球目的是为了尽量消

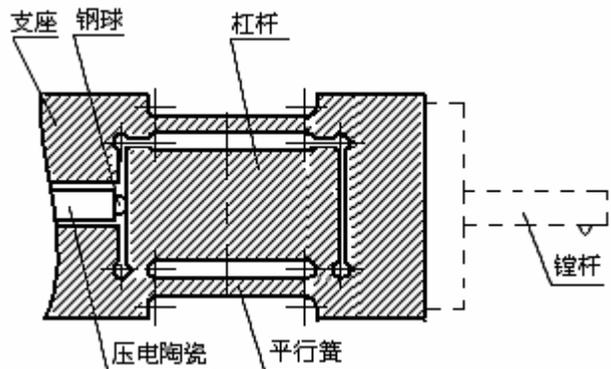


图3 变切深微进给机构的物理模型

除脆性压电陶瓷所承受的剪切力。

3 变切深微进给机构的控制方案

由于驱动电源和压电陶瓷存在非线性特性,并且镗削时会有切削力等干扰因素,为了提高径向微进给伺服机构的性能,需要引入反馈控制方式,具体如图 4 所示。

由图 4 可知,变切深微进给伺服机构采用了速度和位置双闭环反馈控制方式。其中内环为速度环,采用比例控制,主要用来提高伺服刀架的快速响应性能以及提高系统的动态刚度。外环为位置环,主要用来提高系统的跟踪精度。这里采用电感式速度传感器检测变形体平行簧横梁的平移速度,用电容式位置传感器检测平行簧横梁的具体位移。通过合理的设计控制器参数,可以保证变切深微进给系统获得所需的动态响应性能和刚度。由于上述两种传感器都置于变形体内,因此镗床加工孔径范围将不受影响。

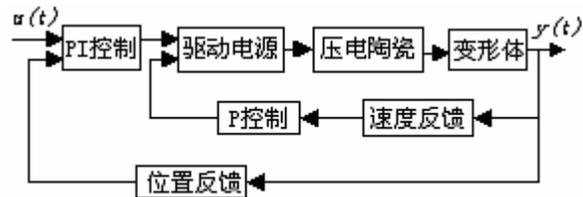


图 4 变切深微进给系统的控制原理图

4 结束语

对镗削变切深微进给系统的整体方案、变形体镗头以及具体的控制方案进行了论述。目前有关信号无接触传递、变形体镗头的优化设计、驱动电源设计等技术已得到了基本的解决。而有关能量的无接触传输、压电陶瓷的控制等关键技术有待进一步研究。

参考文献

- [1] Weck M, Leifhelm B, Zimmerschitt-Halbig P. Intelligent Boring Tool – iBo[C]//3rd International Conference European Society for Precision Engineering and Nanotechnology. Eindhoven: the Netherlands, 2002: 357-360.
- [2] Pasek Z J, Min B K, Szuba P, et al. Strategies to Enhance Agility and Machining Accuracy in Line Bore[C]//2nd IFAC Conference on Mechatronic Systems, California: IFAC, 2002: 563-568.
- [3] Mehrabi M G, O'Neal G. Improving Machining Accuracy in Precision Line Boring[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2002, (13): 379-389.
- [4] O'Neal G P, Pasek Z J, Koren Y. Integrated Structure/control Design of Micro-positioner for Boring Bar Tool Insert[C]//Smart Structures and Materials: Smart Structures and Integrated Systems. Norman: SSIS, 2000: 560-569.
- [5] 张凯, 胡德金. 一种基于电磁驱动的非圆异形孔加工方法[J]. 上海交通大学学报, 2005, (6): 845-848.
- [6] 马浩全, 张凯, 胡德金. 活塞异形销孔加工的研究[J]. 压电与声光, 2005, 27(5): 518-520.
- [7] 杨宜民, 章云, 李医民. 活塞异型销孔加工专用 NC 镗床的研制[J]. 机床与液压, 1998, (1): 34-51.
- [8] 郭义杰, 项占琴. 新材料在活塞异型销孔制造中的应用[J]. 制造技术与机床, 1998, (1): 78-81.
- [9] 许景雍, 翁绍裕. 活塞异形销孔加工原理及设备[J]. 上海机床, 1998, (1): 22-24.