

数控复合磨削技术的发展及研究现状

Development and Current Research of NC Combined Grinding Technology

北京第二机床厂有限公司 彭浩



彭浩

工程师,就职于北京第二机床厂有限公司,一直从事磨床方面的设计工作,参与了B2-K3000型数控复合磨削中心的研发设计。

进入 21 世纪,整个世界机床的发展已经明显呈现出高速、高精度、复合化的特点。从生产效率、成本、加工能力、性能、寿命等使用条件考虑,高速是机床发展的必然选择,高精度是机床精益求精、追求完美的方向性选择,而机床发展的复合化方向则是柔性化与专用化多年来辩证发展的最新成果。

机床功能的专用化不仅提高了

随着社会各个领域的不断发展,对机械加工领域的要求不断提高,高速度、高精度和高效率的“三高”加工是对未来机械加工的基本要求,传统的加工理念难以满足,复合磨削技术将成为未来磨削加工的发展方向。

机床自身的生产效率,而且极大地提高了应用这种专用工具的各行业的生产效率,特别是在汽车工业中表现尤为突出,专用化的影响力一直到今天都存在。但随着产品更新换代速度的加快和社会分工的迅速多样化,专用化生产设备的瓶颈已经突显。特别是随着数字控制技术的日益发展与性能的提高,大大增强了数控机床的柔性自动化能力。同时,在各个领域里对产品的个性化需求也空前地高涨,越来越多的机床设计朝着柔性化方向深入发展。随着高速、高精度技术的不断发展,机床的加工效率已经在很大程度上超越了专用化,柔性化与高速度、高精度在概念层面的融合成为现代复合化概念的重要基础,使复合化成为机床具有现实意义的发展方向。

现代的复合加工技术一般是指通过将工件的相似、相近或相关工序集中在同一设备进行加工,实现一次

装夹下不同工序或工艺的复合,进而实现加工的高精度和高效率的目的。现代的复合加工机床是以现代柔性自动化的数控机床为基础,以组合机床和多刀半自动转塔机床的“集中工序、一次装夹实现多工序复合加工”的理念为指导发展起来的新一类数控机床。工件只需要一次装夹,通过自动更换加工所需的工具(刀具、夹具和辅具),便能自动地按数控程序依次进行同一工艺方法中的多个工序或不同工艺方法中的多种工序的加工,从而减少非加工时间,缩短加工周期,达到提高生产效率的目的。因此,数控复合加工机床从加工的复合性方面,可划分为工序复合型和工艺复合型两大类。考虑到夹具在不同工艺方式下对装夹的原理的区别,以及设计者对不同工艺手段在原理上理解的差异,在替代多台设备实现加工目的的同时,精加工设备的工序复合往往可以实现更高的精度

指标,因此具有更高的实用价值和更多的应用需求。

数控高精度复合磨削中心

数控高精度复合磨削中心是典型的工序复合机床,通过高效地运用现代数控技术将回转体零件的多种磨削方式集成在一起,并实现刀具的精确换位加工。数控高精度复合磨削中心将外圆、端面外圆、内孔、锥面、曲面、槽和螺纹等磨削功能通过数控技术高度复合,实现工件一次装卡多工序磨削的功能,在基准统一的条件下保证工序间的高精度,大大缩减工序间的辅助时间和换型的调整时间,减少机床和夹具数量,缩短加工周期,节约作业面积,显著提高经济效益。同时,磨削中心还可以结合高精度磨削技术、高效磨削技术和非圆磨削技术等概念进一步复合,成为高精度、高效率、多功能的复合精加工中心。数控高精度复合磨削中心实现的高精度、柔性磨削技术,称为复合磨削技术。

数控高精度复合磨削中心是现代制造系统重要的和急需的精加工设备,是国外制造业加工精度的重要保障,被称为“加工母机中的母机”,在军工、航空、刀具、量具、夹具、机床制造等领域能够突破性地解决大量加工难题,特别是航空发动机、航空动力传动装置、航空燃油喷射装置中的高精度轴套类零件的加工,需要保证零件的高精度、长寿命和能量传递的高效率,具有重要的研究和实用价值。目前,此类设备还只能依靠进口,技术附加值非常高,价格昂贵,每年造成大量外汇支出。

从数控高精度复合磨削中心的加工方式和刀具配备两方面的特点看,与组合机床具有非常相似的特征,都是通过一台设备实现多工序加工,具有非常高的效率。但是,数控高精度复合磨削中心与组合机床又具有完全不同的本质特征。数控高

精度复合磨削中心加工工件的高效率不仅仅是由于工序集成取得的,通过复合高效磨削技术也对加工效率的提高给予了很大贡献。同时,数控高精度复合磨削中心的设计关注点在于通过工序集中产生更高的加工精度,而这种加工精度往往是以往设备和加工方法所无法达到的。除了高效率和高精度两大因素,数控高精度复合磨削中心对不同工件所体现出的柔性更是其他磨削设备所无法比拟的。磨削中心上配置的多个砂轮可以针对不同工件的不同工序方便地进行调整、换位,完全不同于组合机床加工零件单一、不便于调整的情况;磨削中心还可以针对轴类、盘类零件上的外圆、内孔、端面、锥面、螺纹、非圆和曲面等多种加工要素同时提供工序集成的解决方案,夹具和程序的调整非常方便。因此,当数控高精度复合磨削中心集中了高精度、柔性和高效率这三大特征时,它也成为工序集成设备的典型代表,也是现代磨床设计者追求的最佳体现。

数控高精度复合磨削中心的发展历史

20世纪80年代,瑞士 Studer、德国 Shaul 和英国 John&shipman 等

公司就已经开始在液压半自动万能外圆磨床上采用转塔砂轮架体结构,在转塔砂轮架上安装外圆磨削主轴和内孔磨削主轴,实现外圆工件或内孔工件的磨削加工。那时的转塔结构采用液压顶起、手动转位和鼠牙盘定位的结构。当时对于同一工件多工序集成的加工需求并未明确,而且转塔结构的自动控制和内装电主轴直接驱动等技术并未达到相应的水平,因此复合磨削的概念也没有明确提出。到了20世纪90年代,瑞士 Studer 公司率先采用数控转台结构,设计开发了首台数控高精度磨削中心,可以在工件一次装卡过程中同时加工工件的外圆、内孔、端面、锥面和卡槽等多个部位,这不仅实现了多工序复合,而且具有极高的精度。复合磨削的概念由此逐渐进入了高精度磨削领域。

经过近20年的发展,目前国外已经有瑞士的 Studer 和 Klingelberg、德国的 Junk、西班牙的达诺巴特、意大利的 Morara 和日本的丰田工机等公司具备数控高精度复合磨削中心设计制造能力。其中瑞士的 Studer 和 Klingelberg 公司的产品质量性能优异,大量销售到国内,致使国内在此类设备领域形成了



高额的贸易逆差,其生产的数控复合磨床具有柔性、高精度、复合加工特征,能够实现一次装车、多工序敏捷、柔性、复合磨削加工。而国内机床行业在此领域尚处在研发的初级阶段,尚无相关成熟的产品。

随着非圆磨削、螺纹磨削、CBN(立方氮化硼)超高速磨削等现代磨削技术的快速发展应用,国外研制的数控高精度复合磨削中心已具备很高的多功能复合水平,可用于高精度零件外圆、内孔、端面、锥面、螺纹、非圆和曲面等部位的复合磨削加工。在中型规格上,国外高精度复合磨削中心的主要参数的基本情况见表1,国外高精度复合磨削中心的结构性能的基本情况见表2。

北京第二机床厂有限公司复合磨削中心的研究现状

在国家振兴装备制造业的发展战略指导下,通过近几年的发展,北京第二机床厂有限公司取得了快速的发展,整机设计水平、制造工艺水平和技术研究能力得到很大的提升,缩小了与国外先进水平的差距,具备实施本课题的技术制造条件。通过引进消化吸收国外先进技术和利用国内科研院所最新科研成果相结合的方式,自主开发出一批适合中国军工、航空、刀具、量具和机床制造等精密制造行业用户生产使用特点的中高档数控精密磨削机床产品。其中,为哈尔滨量具刃具有限公司提供的超高精度外圆磨床已达到瑞士、日本的国际知名品牌机床的加工精度;与国内军工企业127厂、247厂合作的课题,被评为国产数控机床优秀军工合作课题。提供的多台阶多锥面复合磨床产品拥有五面体加工中心、六工位卧式加工中心、数控龙门导轨磨床、箱体类零件柔性生产线等现代化加工设备,配置有英国LK三坐标测量仪,高精度圆度仪和双频激光干涉仪等检测仪器。在高精度外圆磨

表1 国外复合磨削中心主要参数对比

生产者	斯来福临·Studer	哈挺·Kellenberger	莫罗拉·Morara	
机床型号	S40CNC×1600	VARIA UR1-2-3	MTL2000	
中心高/mm	175	175(225)	255	
顶尖间中心距/mm	1600	1500	2000	
最大磨削直径/mm	340	340	500	
最大磨削长度/mm	1600	1500	1540	
顶尖间最大承重/kg	130/150	150/250	200/450	
数控系统	系统型号	FANUC16i-TB	Heidenhain iTNC530	SIEMENS840D
	数控轴数	4(X,Z,B,C)	4(X,Z,B,C)	4(X,Z,B,C)
	编程方式	ReiseD 操作系统	Kellenberger 软件包	UNIGRIND MORALAdix

表2 国外复合磨削中心主要结构对比

生产者	斯来福临·Studer	哈挺·Kellenberger	莫罗拉·Morara
总体布局	传统工作台移动式	传统工作台移动式	后置砂轮架全动式
床身	人造花岗岩 S103	高刚性铸铁	高刚性铸铁
工作台导轨及润滑	传统 V-平动压滑动导轨,导轨面注塑	采用 PM 流量控制技术的静压导轨	高刚性滚柱直线导轨
Z 轴驱动	伺服电机-滚珠丝杠+Heidenhain 光栅尺	伺服电机-滚珠丝杠+Heidenhain 光栅尺	直线电机+Heidenhain 光栅尺
外圆砂轮主轴	滚子轴承主轴系,皮带传动,电机内冷(水冷)	动压滑动轴承主轴系,皮带传动,电机内冷(水冷)	内装式滚动轴承电主轴(水冷)
内圆砂轮主轴	内装式滚动轴承电主轴(水冷,油-气润滑)	内装式滚动轴承电主轴(水冷,油-气润滑)	内装式滚动轴承电主轴(水冷,油-气润滑)
砂轮架转塔(B轴)	一度分度鼠牙盘+蜗轮蜗杆微调角度,液压锁紧,无圆光栅	伺服电机-蜗轮蜗杆驱动,液压锁紧,有圆光栅	力矩电机驱动,液压锁紧,有圆光栅
X 轴驱动	伺服电机-滚珠丝杠+Heidenhain 光栅尺	伺服电机-滚珠丝杠+Heidenhain 光栅尺	直线电机+Heidenhain 光栅尺

床及磨削技术、数控磨床及磨削技术、CBN 砂轮高速高效数控磨床及磨削技术和超精加工技术等处于国内领先地位。外圆磨床市场占有率一直处于国内前两名,其中高精度磨床市场占有率为 77% 左右,高精度外圆磨床是中国的第一品牌。

北京第二机床厂有限公司通过在其他数控磨削机床研发、制造和调试使用经验的积累和成功应用,目前已经基本掌握精密、复合、数控磨床磨削加工的工艺方法和技术,并已开始相关技术的前期研发工作。特别是通过国家 863 课题的支持,对精密、复合、数控磨床的结构、磨削机理和测试评价等方面开展了研究,目前

已经在数控精密和复合磨削技术方面取得了突破,成功研制了国内首台高精度复合磨削中心。

此机床的整体布局为:T 型床身、工作台(双层)移动、砂轮架可回转、全封闭。第一、第二主参数分别为 $\phi 200$ 和 1000;头、尾架为 4# 莫氏锥孔;工作台手动调锥,西门子 AC 伺服电机驱动滚珠丝杠副,实现工作台纵向进给(X 轴);砂轮架带力矩转台(B 轴),转台内置 HEIDENHAIN 角度光栅尺(绝对);横进给为西门子直线电机直接驱动(Z 轴),HEIDENHAIN 直线光栅尺(绝对)位置测量,横导轨采用滚动直线导轨副;头架为高精度滚动轴承轴系、伺

服电机通过同步齿形带驱动主轴回转(C轴), HEIDENHAIN 旋转光栅尺(绝对)测量;尾架数控进退(W轴);宽砂轮选用 GY03-3D41 动静压轴系,三段变频调速,高精度轴系选用 MG0-3A4 大锥度动压轴系,内孔磨轴系采用电主轴,变频调速;金刚石滚轮修整,安置头架上;人造花岗岩床身;西门子 840D 数控系统,实现五轴控制,三轴联动。

采用直接驱动旋转电机的力矩转台,由于没有运动形式的转换,即在驱动系统中没有因传动部件而引起的弹性、间隙、摩擦和滞后现象,提高了力矩转台-砂轮架系统的动态性能。由于直驱电机采用了高磁极数的结构,能实现高转动力矩的输出,在零转速和标称转速之间可实现恒扭矩输出,这也有助于提高系统的刚性和动态性能。采用直驱电机的另外一个优势在于无附加运动部件,降低了系统的安装、调整成本。

多砂轮架系统带有 1 个直切砂

轮,1 个斜切砂轮和 1 个内孔砂轮。直切砂轮和斜切砂轮置于砂轮架一侧,内孔砂轮置于砂轮架的另一侧;直切砂轮和斜切砂轮背对背放置。直切砂轮用于磨削外圆柱面和外圆锥面,斜切砂轮用于端面和外圆柱面(或外圆锥面)的同时磨削,内圆砂轮用于内孔的磨削。

力矩转台配置德国 HEIDENHAIN 公司角度编码器,采用德国西泰克直驱转台,力矩电机驱动,测量步距 0.36"。保证多砂轮的准确换位,同时可实现 X-Z-B 轴联动,完成曲面的磨削。配温控装置通过力矩转台直接驱动多砂轮系统,可实现对工件外圆、内孔、端面、锥面、螺纹、非圆和曲面等部位的高精度复合磨削加工。

此数控高精度复合磨削中心以高精度磨削技术为基础,以复合磨削技术实现了机床的高柔性,从而大大扩展了机床的加工能力范围、提高了加工精度水平。数控高精度复合磨

削中心的高柔性规避了刚性不足影响效率的问题,通过一次装卡的复合磨削过程进一步实现了高效率,是高精度、高柔性和高效率的有机结合,取得了设计理念的飞跃。

结束语

在全球磨床制造和金属加工领域,复合磨削技术正以其强大的加工能力被不断发展与应用。复合磨床是在柔性自动化的数控加工条件下,为了实现复杂形状工件的高效精密加工,在机床上一次装卡完成多种磨削工序的高档数控机床。其突出的优点是可减少装卡次数、提高工件加工精度、缩短工件的生产周期。

随着社会各个领域的不断发展,对机械加工领域的要求不断提高,高速度、高精度和高效率的“三高”加工是对未来机械加工的基本要求,传统的加工理念难以满足,复合磨削技术将成为未来磨削加工的发展方向。

(责编 岩石)



芬尔把手点缀精美机械



手柄类



水平调整件



合金拉手



手轮



把手



铰链

唯有更专业



● 压紧把手 ●

才有高品质



● 拉紧把手 ●



● 顶紧把手 ●



扬州芬尔机械配件有限公司
YANGZHOU FAIERR MECHANICAL FITTING CO.,LTD.

地址: 江苏省扬州市沙头镇施沙路8号 邮编: 225105
电话: 0514-87533188 87533288 传真: 0514-87533288 87533088
http: //www.faierr.com E-mail: sale@faierr.com.cn

广告索引号10-077