

# 并联机床在飞机结构件加工中的应用

## Application of Parallel Link Machine Tool in Aircraft Structure Part Machining

沈阳飞机工业(集团)有限公司 杜宝瑞 刘道庆 李建军 翟 南

新一代飞机的高性能、高质量、短周期和低成本研制要求,对制造技术尤其是结构件数控加工技术的发展提出了新的挑战。采用虚拟主轴的并联机床刚度重量比大、响应速度快、精度高、效率高,故在数控加工行业得到越来越多的关注。

新一代飞机的高性能、高质量、短周期和低成本研制要求,对制造技术尤其是结构件数控加工技术的发展提出了新的挑战。采用虚拟主轴的并联机床刚度重量比大、响应速度快、精度高、效率高,故在数控加工行业得到越来越多的关注。20世纪末,为了寻求适应飞机结构件的全新工艺方法和机床,德国某公司和空客公司合作开发了一种全新的满足高精度、高刚性、高效率、低成本的加工设备——虚拟轴五坐标高速卧式加工中心,2000年开始源源不断地提供给空客、波音等世界主要飞机生产厂家。本文重点介绍该德国公司采用SPRINT Z3万向高速主轴并联机床的工作原理及技术参数。由于SPRINT Z3万向高速主轴的使用,飞机结构件得到高速、高精度的加工,并获得完美的表面加工粗糙度。

### 设备介绍

并联机床又称虚拟轴机床,是并

联机器人技术与机床结构技术相结合的产物,其原理为:在并联机构的动平台上安装主轴头,动平台带动主轴头实现多轴联动。并联机床与传统数控机床将形成很强的优势互补,尤其在复杂曲面精密加工上具有十分广阔的应用前景,是目前国际上并联机器人和先进制造领域的一个研究热点。

下面介绍该公司采用SPRINT Z3万向高速主轴的并联机床技术参数及其特点。

### 1 设备结构及参数

该型虚拟轴机床是一款带快速托盘交换装置的高性能五轴加工中心,设备由床身、立柱、龙门框、可交换工作台、万向高速主轴、刀库和控制系统等部分组成。机床采用专利设计SPRINT Z3虚拟主轴头,该主轴头包含在立柱内,可实现Y、Z、A及B轴的运动;而X轴的移动通过工作台运动实现,同时工作台的交换由2个可以旋转90°四工位的工

作台交换站完成。各轴(线性轴和回转轴)加速度达到 $9.81\text{m/s}^2$ ,快速进给速度达到 $50\text{ m/min}$ ,换刀速度 $1.8\text{s}$ ,链式刀库设计。

主要技术参数如下:

- X轴最大行程: 1600mm;
- Y轴最大行程: 2500mm;
- Z轴最大行程: 670mm/370mm (主轴 $\pm 40^\circ$ 时);
- A轴摆角行程:  $\pm 40^\circ$ ;
- B轴摆角行程:  $\pm 40^\circ$ ;
- 工作台尺寸: 1200mm × 1200mm;
- 工作台交换时间: 10s;
- 主轴最高转速: 30000r/min;
- 快速移动速度: 50m/min;
- 加速度:  $9.81\text{m/s}^2$ ;
- 刀柄形式: HSK63A/80;
- 刀库容量: 64把;
- 主轴额定功率: 80kW;
- 主轴最大扭矩: 46N·m;
- T型槽宽度 × 间距 × 条数: 22mm × 125mm × 7条。

数控机床主轴功率扭矩表如图1所示。

## 2 SPRINT Z3 万向高速主轴

该系列加工中心的主要特点是采用了突破性的SPRINT Z3型高速万向主轴。该主轴利用三杆并联机构,可以同时完成主轴头的直线和旋转运动。其工作原理为:在主轴外框的内壁上有 $120^\circ$ 均匀分布的轴向线性导轨,伺服电动机驱动导轨上的滑板前后移动,滑板通过板状连杆和万向铰链与主轴部件的壳体相连。如果3块滑板同步运动,则主轴部件做Z方向的前后直线移动;如果3块滑板不同步运动,就可以通过万向铰链使主轴部件沿A或B坐标在 $\pm 40^\circ$ 范围内任意摆动。由于飞机机身一般采用薄壁零件,所以机床主轴Z坐标的运动行程控制在670mm以内,以提高主轴的静态和动态刚度。

传统主轴头的A/C、A/B摆动加工有许多弊端,如空间窄小,在

很小的空间内要布置相应的机械传动和水、电、气的供应接口;采用摩擦离合器等构件刚性差、易磨损,特别是A/C、A/B摆动的加速度很低。SPRINT Z3主轴克服了这些弊端,最大的特点是刚性好、功率大(80kW),摆动轴的加速度可达 $1g$ ,因此对速度的响应特别快,运动更加平稳,更适应连续角度变化的曲面加工。

## 3 并联机床的特性

传统机床是按笛卡尔坐标将沿3个坐标轴线的移动

X、Y、Z和绕3个坐标轴线的转动A、B、C依次串联叠加,形成所需要的刀具运动轨迹。并联机床则是采用多种类型的杆机构在空间移转主轴

部件,形成所需要的刀具运动轨迹的。并联机床具有结构简单紧凑、刚度高、动态性能好等优点,应用前景十分广阔。

并联机床采用圆柱形的主体结构;完成线形的自由移动,可实现直线加工或转变成万向摆动加工;最

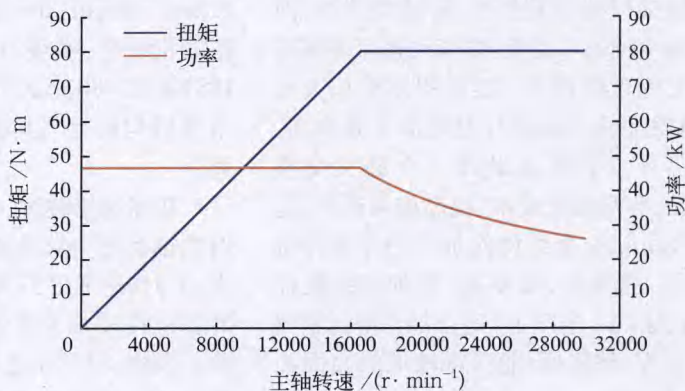



图1 主轴转速与功率和扭矩的关系


小的移动质量;最高的移动速度和加速度;最高的精度;适合绝大部分航空航天铝结构件的快速和高精度加工。快速移动50m/min;加速度



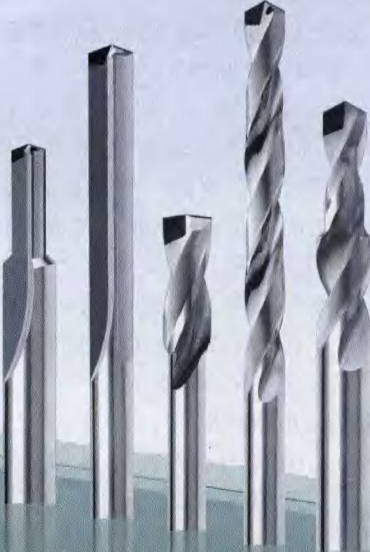
**PINDIN**  
ENTERPRISE GROUP INC.

信仰创造无限 远见 稳进

# 复合材料 专用加工刀具



金刚石涂层铣刀



焊接金刚石钻铰刀

**西安品鼎数控工业有限公司**  
Xi'an PinDin Digital Control Industries Co., Ltd.

地址: 西安市长安北路91#富城大厦1101室 邮编: 710061  
电话: 029-87807755 传真: 029-87805201  
网址: WWW.pindin.com.cn 邮箱: pindin@pindin.com

[WWW.PINDIN.COM.CN](http://WWW.PINDIN.COM.CN)

广告索引号 09-122



达到  $9.81\text{m/s}^2$ 。而传统的  $A/B$  摆角或  $A/C$  摆角的机床,由于空间和旋转面联接的限制、通过旋转的摩擦面来传送,因此容易磨损,故障率高。

由于主轴的方向摆动是通过 3 个线性轴的运动实现的,而 3 个线性轴采用标准元件产品,结构简单,因而主轴的可靠性、精度和寿命得到很大程度的提高;摆角的范围加大而坐标的运动减少,因而加工效率高。另外,2 台机床共用一个装夹交换站,可从降低成本、提高使用效率,是飞机铝合金结构件加工的专业化机床;排屑好、效率高,达到传统数控机床的 2 倍以上;适合加工薄壁整体壁板、整体框,能获得较低的表面粗糙度值。

## 典型应用

ECOSPEED F HT1000 为五轴高速卧式加工中心,特别适合于加工尺寸规格为  $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$  的铝合金预拉伸板材类零件。下面以某型民机产品飞机结构件为例,从装夹定位方案、刀具及切削参数选用、加工程序编制及仿真等方面介绍该机床的应用情况。

### 1 装夹定位方案

装夹方式通常有 2 种:采用真空吸夹,适用于单面加工的零件;采用螺栓(沉孔)压紧,适用于双面加工的零件。为便于快速定位(拉直找正、确定原点),可在普通三坐标数控设备上加工出定位基准(如定位面、直角边、工艺孔等)。该设备有 2 个交换工作台,可在不停机的情况下提前做好下一个工装和零件的装夹准备,大大提高了设备的利用率。

### 2 刀具和切削参数

为充分冷却、延长刀具寿命,高速加工时宜采用内冷结构刀具,常用的有 2 种:整体合金内冷高速铣刀和机夹式内冷高速铣刀。机夹式内冷高速铣刀由刀体、刀片、紧

固螺钉组成,常用于高速粗加工去除余量,刀具外径尺寸规格推荐系列:20mm、25mm、30mm、32mm、40mm、50mm,粗加工时尽量选用大直径的刀具。整体合金内冷高速铣刀常用于零件内外形的精加工,刀具外径尺寸规格推荐系列:10mm、12mm、16mm、20mm。为适应该设备的机械手、实现自动换刀,应选用 HSK63A/80 形式刀柄,其刀柄换刀卡槽结构尺寸与其他高速铣设备不同。

在高速旋转时,刀具的不平衡会对主轴系统产生附加的径向载荷,其大小与转速成平方关系,从而对刀具的安全性和加工质量带来不利的影响。因此,用于高速切削的铣刀必须经过动平衡测试,并应该达到规定的平衡质量等级,本设备对于高速铣刀不平衡质量要求达到 G2.5 级。

铣削时可以根据被加工材料、刀具、工件的结构特征选择主轴转速  $12000 \sim 28000\text{r/min}$ ,加工进给  $7 \sim 15\text{m/min}$ 。建议以大切深、径向分层切削为主,切削宽控制在 3mm 以内。

### 3 加工程序编制及仿真

并联高速机床编程除了要满足通用要求外,还要注意:

(1) 避免刀具侧刃贴着零件侧壁进退刀;

(2) 避免在零件内形锐角处直接进刀;

(3) 除非预先制出进刀孔,不要把铣刀沿轴向切入毛料;

(4) 进、退刀宏指令要仔细设好进给速度,避免极慢或极快的进退刀;

(5) 五坐标加工时,在程序的开头和结尾都要插入所有转角归零程序段;

(6) 对于进退刀宏指令不要赋予太多的功能;

(7) 进刀速度选择:以接近机床的最大进给速度运行到距毛坯表面

$5 \sim 10\text{mm}$ ,然后以加工速度的 30% ~ 50% 切入毛坯;

(8) 退刀速度选择:以正常加工速度运行 2mm,使刀具离开毛坯,然后以接近机床的最大进给速度使刀具运行到安全区域。

虚拟主轴机床五轴开关始终是打开的,不允许手动加入,否则在自动换刀时会引起报警。程序头加入“FINISHING”精加工(控制机床加速度)语句,加工中 FINISHING 可以获得最佳的精度。

程序试切前必须经过 VERICUT 加工仿真,让“碰撞”发生在编程阶段,避免重大损失;还可实现程序优化,提高加工效率。

## 其他功能应用

### 1 转台

利用 BT90° 转台转定角可补偿摆角不足的加工。

### 2 测量探头

测量探头(RENISHAW)用于零件的快速拉直找正、确定坐标原点。

### 3 激光刀具管理和破损控制系统

激光刀具管理和破损控制系统(“BLUM”功能)用于刀具检测和破损控制,检测循环包括如下内容:校对程序、刀具破损控制、单刃监控、自动对刀具长度、直径调整。

需要注意的是,在检测开始之前,确定刀具已经移开工件,并且避免碰撞;然后可以接近定义的检测初始点。

## 结束语

并联机床在我国航空工业中的应用处于起步阶段,还有很多技术没有掌握,设备效率还不能得到高效发挥;此外,进口并联机床价格昂贵,而国产设备质量不过关。无论是设备制造,还是配套技术攻关,仍需进一步研究。

(责编 小颖)