

# KX系列机床在航空超硬材料加工中的应用

## Application of KX Series Machine Tool in Aviation Material Machining

友盛(上海)精密机械有限公司 王伟德



王伟德

友盛(上海)精密机械有限公司总经理。熟悉汽车和航空零部件加工的方案,并负责技术和商务谈判,会同法国优龙公司可为用户提供技术解决方案。

当今企业为了提升自身在市场的竞争力,不断寻求新型加工方式,而采用高速、高性能和高精密机床的手段,不仅使自己原有产品更容易实现设计上的一些关键要求,并能提高产品加工质量及质量稳定性并提高自身的市场竞争力。

一些欧美国家拥有先进的制造技术,并且能生产出当今一流设备。

随着航空工业零部件加工中经验的积累,法国优龙公司已采用现代高速电主轴结构,主轴额定功率达到 86kW,额定加工扭矩达到 235N·m,对钛合金和不锈钢等超硬材料的零件加工可以采用从毛坯开始的粗加工、半精加工和精密加工的工艺,给最终用户可能选择的工艺方法留出很大空间,能够减少装卡次数,避免因零件多次装夹产生定位误差,从而造成零件加工位置精度误差。

友盛精密机械从这些众多的著名企业和品牌公司中,选择了法国优龙机床公司来作为合作伙伴。优龙公司已经具有 150 年历史,专业生产超精密龙门加工设备,其生产的机床具有超高的刚性,超强的稳定性以及可以长时间保持精度。

在当前市场激烈竞争中,优龙不采用减少机床功能,简化机床结构件强度、缩减必要的配置,降低精度等方法来降低生产成本参与竞争;相反,法国优龙公司仍然坚持走高精度、高刚性、多功能机床研发和生产之路,通过简化管理环节、提高劳动生产效率、加强设计和制造相互之间信息的反馈和互补、细化模块化设计的管理模式、合理安排在制品物流以及对外协件供应商供货时间合理的衔接等手段,大幅度降低了管理成本

和生产成本。由于严密安排生产流程,劳动生产效率也大幅度提高。

### 优龙机床特点

(1) 从小型机床到大机床,都采用龙门结构,只由 3 块铸件组成,可以满足加工中心机床高自动化、高速度、高精度、高可靠性的加工要求,优龙机床不仅能在在静力作用下表现出的良好静刚度,在运动状态下仍然能表现出优良的动态高刚度。此外,因采用了专利技术的机械结构缓冲系统,有良好阻尼效果,高速运动状态下也能获得极好的稳定性。如新型 KX 系列全部机床采用了龙门框架式结构,床身为整体铸件,保证了在加工过程中具有非常高的刚性、吸振性和热稳定性,从而带来了高的加工精度。

(2) 设计寿命与使用寿命相吻合,由于机床主体是龙门结构,主轴处于无悬臂加工状态,而且在受力状态时对主轴能够有较大的保护作用,大大提高了主轴使用寿命。

(3) 加工范围大,无干涉,可以连续贴在加工曲面的表面,使得表面加工质量高,并且效率高于摇篮式工作转台约 30%。

(4) 匹配性好。三大运动部件速度都能达到高速和最佳匹配的状态,即主轴高转速、切削高进给、工作台回转高速度。

(5) 在主轴结构设计上获得了专利,采用内部双监控装置、恒温控制和轴承位置伸长控制,主轴箱和滑枕带有振动反馈装置,提高了主轴使用寿命和零件表面加工质量。

(6) 导轨部分采用了耐磨损的材料和超精密的结构设计,不仅能长期保持导轨的精度,同时能在高速重切削下保证运动部件的低振动、低速进给时不爬行和运动中的高灵敏。驱动丝杆部件独特设计,确保在运动状态时丝杆不变形;不会发生由于温度变化而导致机械误差。所有机床位置精度符合 VDI3441 精度标准:全行程 1.2m 以下时,定位精度  $4\mu\text{m}$ /重复定位精度  $2\mu\text{m}$ ;全行程 3.5m 以下时,定位精度  $7\mu\text{m}$ /重复定位精度  $4\mu\text{m}$ ,这项技术也获得了欧盟的技术专利。

(7) 优龙的高速加工中心不仅可用于半精加工和精加工,而且还可以用于粗加工,这种先进的理念打破了原来的高速加工中心只能用于精加工的常规思维。

由于优龙机床低速恒扭矩到高速扭矩的转换区间大,在粗加工及加工钛合金、硬材料时可采用低速大扭矩;在半精加工和精加工时仍然可以采用高速大扭矩。所以 KX 机床加工超硬材料、钛合金、专用航空材料时,可以直接通过编程转换来实施,不需要更换主轴来实现,这样可

以减少交换头库和交换式主轴头等部件。

(8) 优龙公司的产品主要面向高端行业,公司始终如一地选择欧洲最好的合作伙伴,合作的产品包括数控系统、电主轴、测量系统、导轨系统、CAD/CAM 系统等,强强联合的技术优势保证了优龙产品的高质量、高性能和可靠性。

(9) 法国优龙机床定位为航天、航空和精密零件加工行业,虽然市场面小,但实现了设计的初衷,机床达到超精密,价格合理,并逐步趋于中国场所接受价格体系。我们已经几十台三轴和五轴的机床是民营企业购买的,这些装备大大提升了用户的产品档次和市场竞争能力。

### 优龙机床的加工性能

对高速电主轴的监护方面,法国优龙应用了他们发明的专利技术,在主轴保护结构设计方面采用双控制保护方法:(1)配备了主轴振动跟踪检测;(2)主轴内部配置了电子检测主轴轴承伸长装置,可以即时跟踪和控制因高速主轴长时间运转和加工受力时,温度变化造成主轴内轴承与内壁间隙的变化,由于这种变化容易损坏高速电主轴,所以控制系统会自动启动冷却单元来控制温度变化,调整间隙和主轴轴承伸长量,使得加工后的零件表面轮廓精度提高一级。同时也大大提高了电主轴的维护寿命,可以达到 10000h 以上(通常电主轴的需维护寿命为 6000 ~ 8000h)。

随着航空工业零部件加工中经验的积累,法国优龙公司已采用现

代高速电主轴结构,主轴 S6 额定功率达到 86kW,额定加工扭矩达到  $235\text{N}\cdot\text{m}$ ,对钛合金和不锈钢等超硬材料的零件加工可以采用从毛坯开始的粗加工、半精加工和精密加工的工艺,给最终用户可能选择的工艺方法留出很大空间,能够减少装卡次数,避免因零件多次装夹产生定位误差,从而造成零件加工位置精度误差。

从工艺加工方面分析,加工超硬合金钢材料的机床电主轴必须具备低速区,要求具有恒扭矩而且范围广的特性,可以在加工过程中实现主轴功率在最大恒扭矩迅速达到最大。以 KX 200 为例,其机床功率-扭矩特性曲线如图(图中 P 为主轴功率, C 为扭矩, S1、S6 为两种主轴),其主轴(S6)最大转速 12000r/min,主轴恒定扭矩范围一直延伸到 3500r/min,功率额定输出 86kW。

#### 1 切削参数选择

优龙机床工程师针对 KX200 机床特点和技术参数,根据实践经验推荐了切削参数。

(1) 粗加工钛合金和硬材料时,主轴转速一般在 900 ~ 2500r/min (根据刀具直径而定),那时的主轴恒



定扭矩最大,额定切削功率已经上升到 65kW 以上(80% 满功率负荷)。

(2) 半精加工时主轴转速一般在 2500 ~ 3500r/min 或 4200 ~ 5000r/min,那时的主轴额定切削

功率已经上升到 86kW, 而 3750 ~ 4000r/min 这个区域是扭矩 - 功率转换区, 在编程和切削参数选用时, 应该注意它的变化, 避免采用主轴扭矩从低速区转为高速区的这段范围转速, 否则因主轴扭矩波动, 会对零件加工的表面质量造成不良影响。

(3) 精加工时主轴转速一般在 7000 ~ 11000r/min, 主轴采用满功率切削, 发挥机床最大的效能。

当然, 考虑到不同种类的材料中合金含量, 应对加工过程中推荐切削参数作适量调整, 同时也应考虑正确选用刀具材质和切削刃以及断屑刃角度, 但不能忽视对切削液介质的选用和配比等, 这些因素都会影响到零件加工表面的质量和刀具的寿命。

## 2 铝合金加工

在航空铝合金加工方面, 法国优龙 KX 200 机床也有独特加工方法: 采用大功率以及满高速和大进给方法进行加工, 可以明显减少薄壁零件和细长零件的加工变形。

我们曾经对波音 737 肋骨支架的加工做过节拍和零件表面加工精度的比较, 整个工艺过程如下:

(1) 第一工位装夹, 以底面定位, 再加辅助定位, 并夹紧:

- 从毛坯开始, 粗加工时采用主轴转速 60% ~ 70% 左右, 大进给;
- 半精加工时, 采用主轴 85%

转速, 大进给;

- 精加工时, 采用主轴 90% 转速, 大进给, 完成第一面的内容加工。

(2) 第二工位装夹, 以加工面定位和辅助定位并夹紧:

- 从毛坯开始, 粗加工时采用主轴 50% ~ 60% 左右的转速, 大进给;
- 半精加工时, 采用主轴 90% 转速, 大进给;
- 精加工时, 采用主轴 95% 转速, 中等进给, 完成第二面所需加工内容;
- 切割辅助定位夹紧块, 去除多余的废边。

采用原来的工艺加工时间大约 153min, 而采用新工艺加工时间大约 105min, 效率提高了 30% 左右。

## 3 机床的高精度

机床的高精度也是优龙公司的一大优势, 采用的机床精度标准为



KX200 机床外形

VDI/DQG 3441。例如 KX200 机型, X 轴行程为 3300mm, Y 轴行程为 2300mm, X/Y/Z 轴全行程的定位精度和重复定位精度高达  $7\mu\text{m}/4\mu\text{m}$ 。主轴 B 和 C 轴摆动和旋转精度达到  $7''/4''$ 。

在加工铝合金材料时, 高精度工作母机能加工出零件高质量的表面和几何精度。

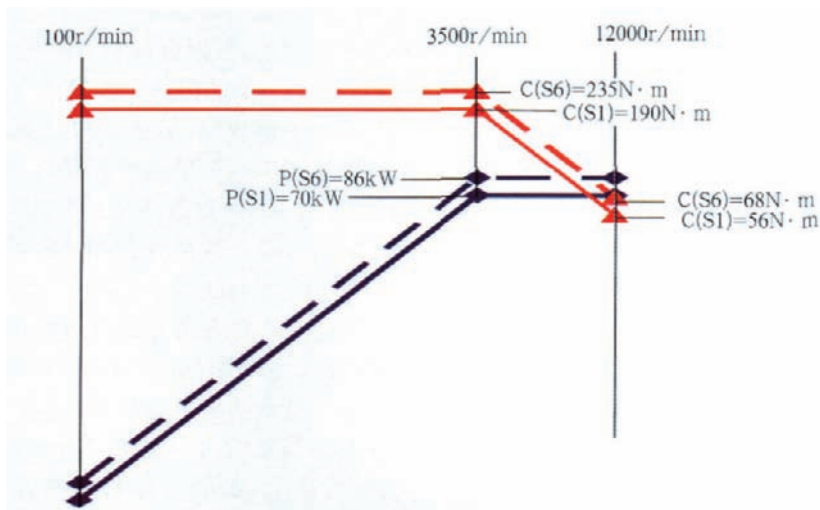
## 结束语

25 年前, 法国优龙机床进入中国市场, 主要客户在大型机械和模具加工行业, 当时由于受到五轴机床出口到中国限制的影响, 对航天和航空工业领域没有开展大力的推广。

随着世界加工产业链发生了很大变化和我国加工技术的迅速提高, 世界航空加工业的零件加工基地逐步延伸到中国, 给中国的航空制造业带来契机。同时, 法国优龙机床公司也调整了自己的销售目标和策略, 看到中国是全世界最大的加工市场。

法国优龙公司的机床高速高精精密龙门加工中心近 10 年来已经销往世界各地, 其龙门框架五轴机床数量已超过 1300 台。

(责编 侧卫)



KX-200 机床功率 - 扭矩特性曲线