

数控工具系统 (下)

哈尔滨理工大学 (哈尔滨 150080) 刘献礼 丁云鹏

3. 新型刀柄

(1) HSK 刀柄 HSK 刀柄是 1987 年德国阿亨 (Aachen) 工业大学机床实验室 (WZL) 及一些工具公司, 在 M. Weck 教授的领导下研究和开发的, 是一种新型的高速短锥刀柄, 如图 10 所示。

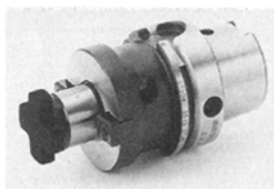


图 10 典型 A 型 HSK 工具系统

HSK 刀柄的结构特点是空心、薄壁和短锥, 锥度为 1:10; 端面与锥面同时定位、夹紧, 刀柄在主轴中的定位为过定位; 使用由内向外的外胀式夹紧机构。由于 HSK 刀柄具有优良的高速高精度的使用性能, 很快在世界各国得到推广, 现在已成为高速数控机床的首选工具系统。

HSK 工具系统最突出的特点就是端面和锥面同步接触, 如图 11 所示。夹紧时, 由于锥部有过盈, 所以锥面受压产生弹性变形, 同时刀柄向主轴锥孔轴向位移, 以消除初始间隙, 实现端面之间的贴合,

这样就实现了双面同步夹紧。就其本身的定位而言, 这种保证锥面和端面同时定位的方式实质上是过定位。HSK 接口的径向精度是由锥面接触特性决定的, 这一点与 BT 锥柄一致。HSK 接口的轴向精度由接触端面决定, 这与 BT 锥柄明显不同, 中空结构是 HSK 刀柄的一个重要特征。要实现双面接触, 锥面必须产生弹性变形, 与实心柄相比, 空心柄产生弹性变形容易得多, 所消耗的夹紧力也小得多, 而

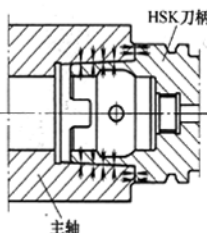


图 11 HSK 刀柄夹紧状态
当主轴高速回转时, 空心薄壁的径向膨胀量与主轴内锥孔相差不大, 有利于在较大转速范围内保持锥面的可靠接触。HSK 刀柄的空心柄部还为夹紧机构提供了安装空间, 以实现由内向外的夹紧。这种夹紧方式可以把离心力转化为夹紧力, 使刀柄在高转速下工作时的夹紧更为可靠。此外, HSK 刀柄的空心柄部还使内部切削液的供应成为可能。

HSK 工具系统图谱如图 12 所示。

HSK 工具系统共分为 6 种型号, 其机构特点及应用领域见表 1。

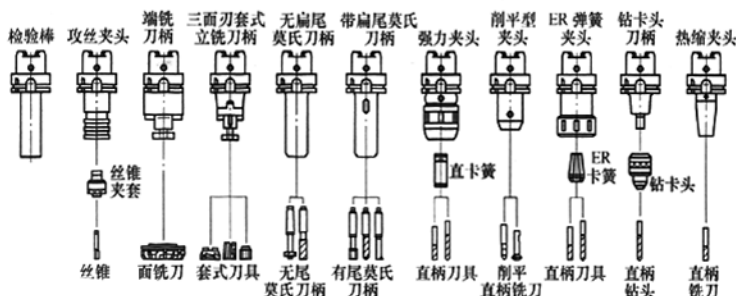
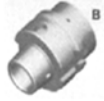


图 12 HSK 工具系统图谱

表 1 HSK 工具系统 6 种型号的结构特点和应用领域

型号	图片	结构特点	应用领域
HSK-A		具有供机械手夹持的 V 形槽, 由放置控制芯片的圆孔, 有内部冷却液通道, 锥体尾部有两个传递扭矩的键槽	推荐用于自动换刀, 也可手动换刀, 适用于中等扭矩、中等高转速加工、达到一定转速需动平衡
HSK-B		相同的锥体直径, 圆柱直径比 A 型大一号, 有穿过圆柱部分的外部冷却液通道, 传递扭矩的键槽在圆柱端面	推荐用于自动换刀, 也可手动换刀, 适用于较大的扭矩, 中到高速加工, 也需要进行动平衡
HSK-C		圆柱面没有机械手夹持 V 形槽, 其余同 A 型	手动换刀的一般加工
HSK-D		圆柱面没有机械手夹持 V 形槽, 其余同 B 型	收到换刀的车削加工
HSK-E		与 A 型相似, 但完全对称, 没有键槽和缺口, 扭矩由摩擦力传递	使用于低扭矩, 超高速, 自动换刀加工
HSK-F		相同的锥体直径, 圆柱部分直径比 E 型大一号, 其余同 E 型	适用于大的径向力下高速加工, 常用于自动机床和木材加工

由于刀柄规格不同, 其法兰直径和重量也不同, 主轴转速越高其消耗的主轴功率越大, 所以应根据使用的转速来确定刀柄的规格, 推荐转速如图表 2 所示。

表 2 HSK 刀柄推荐转速表 (单位: r/min)

型号	HSK A32	HSK A40	HSK A50	HSK A63	HSK A80	HSK A100
推荐转速	50 000	42 000	30 000	25 000	20 000	16 000

(2) KM 刀柄 KM 工具系统是美国 Kennametal 公司及德国 Widia 公司联合研制的, 如图 13 所示, 最早用于车削, 后来应用于旋转刀具。它的基本形状与 HSK 很类似, 也是采用了 1:10 的空心短锥配合和双面定位方式。KM 工具系统具有高刚度、高精度、快速装夹和维护简单等优点。试验证实 KM 刀柄的动刚度比 HSK 系统更高。

KM 刀柄和 HSK 刀柄主要的差别在于夹紧机构的不同, KM 刀柄是使用钢球斜面锁紧夹持时, 钢球沿拉杆凹槽的斜面被推出, 卡在刀柄上的锁紧孔斜面上, 将刀柄向主轴孔拉紧, 刀柄产生弹性变形使

刀柄端面与主轴端面贴紧。相对于 HSK 工具系统, KM 刀柄/主轴具有更大的径向过盈量, 是 HSK 的 2~5 倍, 但是由于其驱动键槽较大, 减小了其锥柄刚度, 刀柄更易于径向弹性变形。由于专利保护, KM 工具系统仅在美国和日本的某些型号的机床上得到推广应用, 国内使用的还不多。

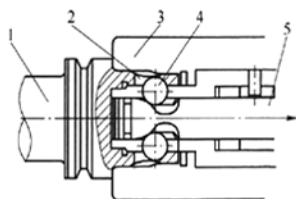


图 13 KM 刀柄及其结构

1. KM 刀柄 2. 刀柄上锁紧孔 3. 主轴
4. 索氏体硬化钢球 5. 拉杆

(3) CAPTO 刀柄 CAPTO 刀柄是瑞典 Sandvik 公司研制开发的, 采用三棱圆传递扭矩, 刀柄呈锥形三角体结构, 其棱为圆弧形。除了具有 3 个棱边以外, 这种空心多边形锥柄采用了 1:20 的锥度。目前, 只有一种型式的 Capto 刀柄, 它有 6 种尺寸规格: C3 (凸缘直径 32mm)、C4 (凸缘直径 40mm)、

C5 (凸缘直径 50mm)、C6 (凸缘直径 63mm)、C8 (凸缘直径 80mm) 和 C8x (一种凸缘直径 100mm 的 C8 多边形); 一种新的 C10 规格 (凸缘直径 100mm, 其多边形大于 C8) 已于 2009 年 3 月 1 日上市。

随着时间推移, CAPTO 的夹紧机构——盘式弹簧机构会出现疲劳现象, 其机械强度也会逐渐降低, 因此 Sandvik 公司开发研制了气动夹紧机构。用于旋转加工的气动 CAPTO 主轴夹紧方式是利用一个气动弹簧夹紧机构, 而不是标准的贝勒维尔垫圈盘式弹簧机构进行夹紧。由于其中没有会磨损的机械零件, 这种夹紧方式提供较长的零部件使用寿命。并且这种夹紧方式能够提供恒定的最大夹紧力, 在多边形上施加较大的夹紧力也不会使其发生变形, 但如果对 HSK 刀柄施加更大夹持力, 其连接处的机械强度则不足以抵抗变形压力。采用气动弹簧夹紧机构的 CAPTO 夹头、CAT 大锥度夹头和 HSK 夹头在旋转加工中的拉杆压力对比如图 14 所示。

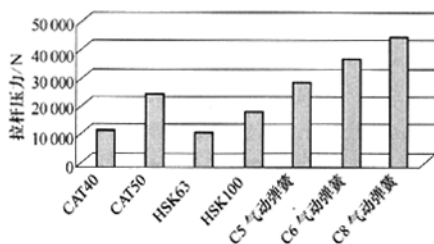


图 14

采用了多面体结构的 CAPTO 刀柄具有如下特点: 该结构取消了传动键槽结构, 扭矩传递靠多面体实现, 因此不会有传动键应力集中问题, 并且消除了由于键和键槽引起的动平衡问题。另外, 由于没有传动键, 切削扭矩呈均匀分布, 从而提高了扭转刚性, 如图 15 所示。至于因单纯弯曲引起的偏斜比较, CAPTO 刀柄表现出了其优越性能。CAPTO 刀柄锥形更长, 锥角更小, 以及更多的材料和更大的夹紧力, 因而能产生更高的抗弯刚度。

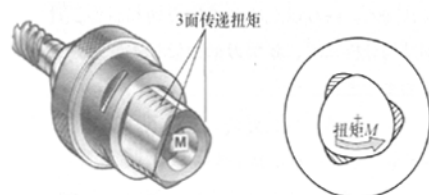


图 15 CAPTO 刀柄的三个传递扭矩面

然而, CAPTO 刀柄的三棱锥特别是主轴三棱锥孔加工困难, 因此加工成本高且与现有刀柄不兼容, 配合会自锁。

(4) NCS 刀柄 NCS 工具系统是日本日研工作所 (株式会社) 自主研发的, 主要应用于旋转刀具。该刀柄采用 1:10 锥度的实心短锥结构, 锥柄外部套装有开轴向槽的锥套, 锥套和法兰端面之间装有盘形弹簧。锥套在盘形弹簧的作用下轴向移动, 实现和主轴锥面的配合, 同时也实现了端面定位的两面夹紧 (见图 16)。在高速下, 当主轴孔扩张时, 锥套在盘形弹簧的作用下轴向移动, 保持锥面接触。因采用锥套碟形弹簧的组合式结构, 通过锥套的微量位移, 有效地吸收锥部基准圆的微量轴向位置误差, 从而缓和了刀柄的制造难度。

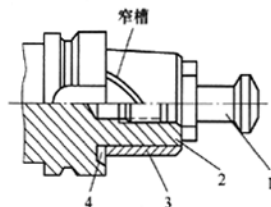


图 16 NCS 刀柄结构

1. 拉钉 2. 刀柄本体 3. 锥套 4. 碟形弹簧

NCS 刀柄与传统 7:24 锥度刀柄均采用法兰面设计, 根据法兰面直径, 目前 NCS 刀柄有五种型号: NCS-46、NCS-53、NCS-63、NCS-85 以及 NCS-100。由于采用的是 1:10 短锥结构, 重量较轻, 换刀速度较快, 同时由于采用的是实心结构, 刀柄的刚度相对较高。短锥结构设计, 允许主轴轴承前布置, 提高了系统的刚度。

但是由于实心结构, 刀具不能在刀柄内部夹紧, 而必须在刀柄的前端夹紧, 因此增大了刀具的悬伸量。NCS 刀柄与传统 7:24 锥柄一样也采用拉钉夹紧, 然而日研工作所专门为传统 NCS 刀柄设计了夹紧机构——POWER5 机构 (见图 17)。POWER5 机构主要由弹簧夹套扩张器、弹簧夹套、增力套筒、拉杆、导向套及盘簧等组成。该夹紧机构通过拉杆、弹簧夹套和增力套筒可将拉紧刀柄的拉力增大为盘簧的 5 倍。当弹性夹套夹紧拉钉, 在夹紧力作用下通过拉钉带动刀柄往主轴锥孔内运动, 最终实现两面夹紧。

(5) 热胀刀柄 随着近年来高速加工在零件及

模具生产上的发展,对高速机床的刀柄提出更高的

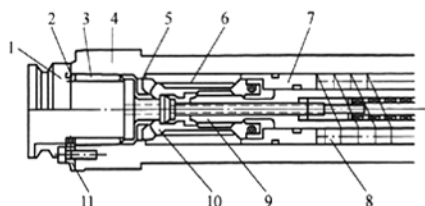


图17 POWERS 夹紧机构装置

1. NCS 刀柄 2. 蝶形弹簧 3. 锥套 4. 主轴
5. 弹簧夹套扩张器 6. 增力套筒 7. 导向套
8. 盘簧 9. 拉杆 10. 弹簧夹套 11. 驱动键

要求,而且高速加工对动平衡要求也非常高,不仅要求主轴组件需精密动平衡(G0.4级以上),而且刀具及装夹机构也需精密动平衡。为了提高刀具和刀柄与主轴的联接精度,采用 HSK 刀柄及热胀式工具系统取代弹簧夹紧和侧固等系统便引起了人们的极大关注。热胀系统是一种刀具与刀柄间不介入任何物质的夹紧方法,它可解决高速高精度加工中极为重要的平衡、振摆精度及夹紧强度等问题。采用热胀刀柄可得到强力稳定的夹紧力,保持高精度。其热胀热取过程如图18所示。

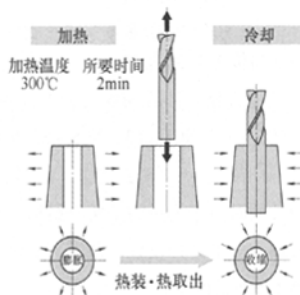


图18 热胀刀柄装取

热胀系统通常都是利用热感应线圈使刀柄的夹持部分在短时间内加热,刀柄内径随之扩张,此时立即把工具装入刀柄内。刀柄冷却收缩时,即可赋予刀具夹持面均匀的压力,从而产生很高的径向夹紧力将工具牢牢夹持住。BILZ 热胀仪采用具有高能场的感应加热线圈,可在短时间内完成刀具更换。由于电磁场的局部性特点,4s 以内即可将刀柄夹持部位加热,刀柄内径随之扩张,很容易进行刀具更换。

BILZ 热胀刀柄(见图19)的优点有:①锥形夹具适于与冷却系统相接触。②小干扰面,高抗弯强

度。③具有利于刀具在冷却状态下安装的前端。④由高温点耐高温优质合金钢制造。⑤通过特殊热(冷)处理使夹具有近乎无限长的使用寿命。⑥在空调环境下加工出高品质,高精度度夹具。⑦夹具圆周跳动小于0.003mm。⑧在精密平衡仪的帮助下高速运转时无干涉。⑨适用于高速切削。

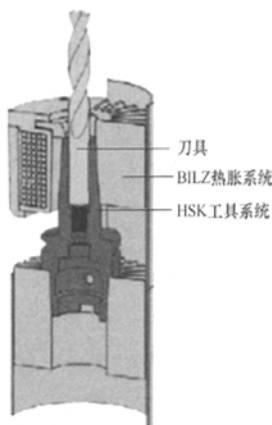


图19 BILZ 热胀工具系统

综上所述,高速加工工具系统都采用了端面和锥面双面接触的过定位方式,这样可以补偿高速加工时主轴孔和刀柄的膨胀差异导致的间隙,避免刀柄轴向窜动,提高刀柄加工时的轴向定位精度和刚度。高速加工工具系统中刀柄锥度一般采用1:10和7:24两种锥度,虽然相同的静刚度下1:10锥柄比7:24锥柄更具有优势,但是在一般情况下7:24锥柄静刚度都能满足使用要求,而且对传统的机床不需要改进,同时也减少了工具系统的品种,减少了产品的生产成本。常见工具系统在结构比较,如表3所示。

4. 数控工具系统的发展趋势

目前,高速切削加工已成为现代制造的重要发展方向之一,但对高速加工工具系统的基础性研究还不够充分,对影响工具系统的关键因素的研究还有待深入。从对以上的改进型刀柄和新型设计的刀柄结构分析来看,新型刀柄的设计主要从以下几个方面来考虑:

(1) 要能产生良好的经济以及社会效益,满足制造业飞速发展对工具系统的要求。

(2) 尽量减小刀柄的质量(例如减小锥柄长度和中空刀柄设计)以适应快速换刀的要求。

表3 常见工具系统结构比较

名称 项目	BT 刀柄	BIG-PLUS 刀柄	AHO 刀柄	HSK 刀柄	KM 刀柄	CAPTO 刀柄	NC5 刀柄	热胀刀柄
定位面形式	单面定位	2 面定位	2 面定位	2 面定位	3 面定位	2 面定位	2 面定位	2 面定位
刀柄锥度	7:24	7:24	7:24	1:10	1:10	1:20	1:10	1:10
锥柄长度	长锥	长锥	长锥	短锥	短锥	长锥	短锥	长锥
夹紧机构	拉钉拉紧, 锥柄直接传力	拉钉拉紧, 锥柄直接传力	拉钉拉紧, 锥柄直接传力	未明确规定 (一般采用短滑块斜楔式或悬挂爪式)	球面斜楔式	气动弹簧夹紧机构	Power5 夹紧机构	热胀夹套
传力元件	拉钉、拉杆	拉钉、拉杆	拉钉、拉杆	弹性夹爪、拉杆	钢球、拉杆	三棱圆	拉杆	夹套
夹紧力放大倍数	拉钉直接传递	拉钉直接传递	拉钉直接传递	$\frac{\sqrt{1+\frac{1}{\tan^2 b}}}{\cos(q+2.6385)\tan a}$	3.5	—	5	—
冷却形式	外部冷却	可以内冷	可以内冷	可以内冷	可以内冷	可以内冷	外部冷却	可以内冷
互换性 (与传统 7:24 刀柄)	可安装于 BIG-PLUS 主轴	可以与 BT 刀柄互换	可以与 BT 刀柄互换	不可互换	不可互换	不可互换	不可互换	不可互换
锥体形式	实心锥体	实心锥体 (带内部冷却孔道)	空心薄壁	空心薄壁	空心薄壁	空心	实心	空心薄壁
存在问题	高速下刀柄内陷; 径向刚度低	由于端面定位, 刀柄不能后移, 高速下可能出现锥面不接触	刀柄中空, 受较大夹紧力时锥面失稳	刀柄中空, 刀具夹持部分旋身量大	夹紧时主轴锥面有变形, 主轴轴承必须后置	加工成本高	由于盘形弹簧的阻尼作用而振动衰减的同时会降低刚度	需要热胀系统

(3) 在结构上考虑增加定位面, 以提高轴向重复定位精度和消除高速加工状态下刀柄轴向窜动问题。

(4) 采用对称结构或者增加其平衡结构, 以减少小刀柄在高速加工下的不平衡量。

(5) 采用大刚度设计的同时使用吸收振动的元件, 以提高工具系统的动态性能。

(6) 采用小锥度刀柄以解决刀柄尾部过分薄弱问题。MW (全文完) (收稿日期: 20110223)

一季度世界机床订单情况

据意大利机床和自动化制造厂商协会 (UCIMU) 最新发布的数据显示, 2011 年 1 季度, 意大利机床订单同比增长 19.1%。经历了 2009 年金融危机的衰退之后, 意大利机床的海外市场明显复苏, 但意大利国内的机床需求下 1 季度同比下降了 1.3%, 国内市场复苏仍然缓慢。UCIMU 的数据显示, 2010 年, 中国已成为意大利机床出口的第一大市场, 占到了整个出口份额的 14.2%, 已超越德国 (10.5%)。2010 年, 在中国等新兴国家需求快速增长的推动下, 意大利机床业运

营状况明显改善, 产值实现 42.3 亿欧元, 同比增长 3.3%; 国内销售额为 16.25 亿欧元, 同比增长 3.8%; 出口额为 26.05 亿欧元, 同比仅增长 3.1%。

近日, 德国机械设备制造业联合会 (VDMA) 公布, 2011 年 1 季度, 德国机床订单持续增长, 同比增长 32%, 增速略有放缓。其中, 德国本土订单增长 35%, 海外订单增长 31%。VDMA 预计, 以出口为动力的德国机床业 2011 年全年增长 10%~14%。