坐标磨床在精密模具加工中的应用

成都宁江机床集团股份有限公司 (611831) 姜 华 高克超 盛香孙 王伟志

TG76K

模具的质量和寿命是相互关联的，影响模具寿命的主要因素有模具的材质和坯料处理、相关的热处理、模具的加工精度（轮廓精度和位置精度等）、模具的表面质量（包括表面粗糙度、硬度和表面层金相组织结构）等，其中最关键的影响因素是模具的精度，特别是模具的装配精度。要得到高精度的模具，其重要前提是零件精度高，本文重点讨论的是对于精密模具如何在经过精加工后达到高的精度和良好的表面质量，即重点讨论模具的精密加工。

一、模具的精密加工

在模具的精密加工中，主要应用的设备有精密电加工机床（精密电火花成形机和慢走丝线切割机）、数控坐标磨床、数控精密高速铣床（高速加工中心）等。这三类设备在加工精度、加工质量、加工周期方面各有优缺点，也各有自己的应用范围。大模具制造过程中，这几种设备也是互为补充的，在此作一个简单的分析比较，见下表。

坐标磨床、电加工机床及高速铣床(高速加工中心)的比较

项目比较	坐标磨床	电加工机床	高速铣床（高速加工中心）
适用范围	适合于高硬度工件的精密加工，对于非金属材料、非导电材料及超硬材料也能进行加工。适用于型腔不太深的轮廓面，位置精度要求高的孔系等	适合于能导电的工件，适用于深槽窄缝加工，复杂图形的通孔类零件，特别是有异常小的过渡圆角的零件	软钢及滚硬钢的加工，适合于中小规格型腔深度不大的中等复杂程度模具的加工
加工精度	很高，圆度小于2μm，孔距精度在2～5μm，平面曲线的轮廓精度5μm	高，尺寸精度最高可达1.8～3μm，轮廓精度一般在10μm以内。	较高，轮廓精度在10～20μm
加工表面质量	表面粗糙度R_a0.2μm，无变质层与细微裂纹。	表面粗糙度最高达R_a0.2μm，一般为R_a1.6～0.8μm，有变质层及细微裂纹，厚度为1～3μm，见图1。影响模具寿命，一般需去除。	表面粗糙度最高可达R_a0.4μm，无变质层和细微裂纹
加工效率	中等	低	高
运行费用（含机床折旧）	中等	低	高
测量功能	可替代三坐标测量机	无	无

二、坐标磨床加工原理及主要磨削方式

1. 加工原理

坐标磨床采用的是行星式内孔磨削方式，用砂轮作为刀具对工件进行磨削加工，加工工件时，通常工件是固定不动的，磨削所需的四种相对运动均由磨轮来实现（见图1）。

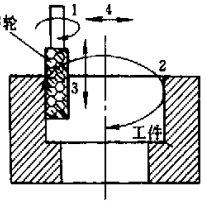

图1 坐标磨床各轴运动原理图

（1）磨轮绕自身的轴线高速旋转（自转），这是切削的主运动1。

（2）磨轮绕所磨削孔的中心线以较低速度作行星运动，也可用数控方式进行磨轮矢量位置调整，以实现形状展成2。

（3）磨轮沿所磨孔的中心线作上下直线往复运动，以实现纵向进给3。

（4）磨轮在每次（或几次）垂直往复运动后，加大磨轮行星运动的回转半径R，以实现横向（或径向）进给4。

此外，通过工作台 X、Y 轴及主轴行星 C 轴的复合运动，可以实现平面轮廓的加工；如果配置数控转台，最多可实现七轴五联动，实现曲面如叶片等类型零件的三维曲面加工。宁江机床集团股份有限公司目前最新一代的数控坐标磨床配置 SIEMENS 840D 系统或 FANUC18 系统，可实现 X、Y、Z、A、C、U 六轴控制，X、Y 方向采用德国 HEIDENHAIN 公司的光栅尺进行全闭环控制，定位精度 ±0.003mm（Ab，新标准），重复定位精度 ±0.002mm。实际上根据公司的内控标准要求，精度余量通常控制在 1/3，即现有坐标磨床达到的定位精度按原标准应为 ±0.0015mm。其余的数控轴通常采用半闭环控制，A 轴（数控转台）采用全闭环控制。

2. 磨削方式

（1）径向进给法　利用砂轮的圆周面进行磨削，进给时使砂轮沿径向作小量的进给。由于采用陶瓷结合剂砂轮时可将砂轮修正得很平整，因此可获得很低的表面粗糙度值和尺寸精度，适用于孔的精磨。

（2）切入法　利用砂轮的端面进行磨削，砂轮沿轴向进给，适用于磨削肩格面、端面、球面等。

（3）插磨法　在磨轮快速上下的同时，砂轮主轴沿工件的轮廓走刀，这种方式是数控坐标磨床进行轮廓磨削时的主要方式。

三、坐标磨床主要加工工艺

坐标磨床的刀具主要有各种材质的平行砂轮、电镀超硬砂轮、碟形砂轮和硬质合金铣刀等，主要对高硬度材料进行磨削和铣削加工，典型加工功能介绍如下：

（1）坐标精度要求高的孔系的磨削加工，如级进模中凸模板、凹模板及固定板、卸料板等关键零件中圆孔、异形方孔等关键孔系的加工，工件最高硬度不受限制，最高孔距精度可达 0.002μm。

（2）二维轮廓的精密磨削加工，如冷冲模的型腔、冲头的精密加工（见图 2），冲头切口模的加工（线切割和曲线磨无法完成），各种形状的中高硬度凸轮的高效加工。

（3）三维轮廓的加工，如叶片的磨削、球面（凹或凸）的磨削。

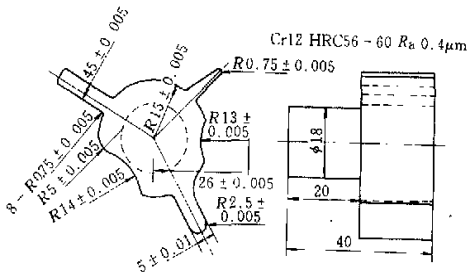

图 2　加工样件精度示意－某公司冷冲模凸模

（4）球面、锥面、锥孔、方孔、圆弧槽、直槽等异形面的磨削，肩格面及平面的精密磨削。

（5）在一次装夹的条件下完成模具的精密铣削和精密磨削，消除二次装夹误差，适用于精密冷冲模、精密注塑模、精密压铸模、精锻模的加工。

（6）采用金刚石砂轮对硬质合金材料、陶瓷材料进行精密磨削，如某公司硬质合金材料的引伸凹模中长腰形孔的加工，陶瓷轴承滚道及外圆的加工。

（7）可以磨削直径 φ0.8mm 以上的小孔；使用自旋工作台可以磨削直径 φ300～φ400mm 的高精度低粗糙度值的大孔及母线为曲线的回转体零件。

（8）可以高速铣削高精度的三维复杂电极。

四、坐标磨床概述及技术动态

坐标磨床是在 1940 年前后由美国的 MOORE 和瑞士的 HAUSER 先后推出的，这两家公司同时也形成了坐标磨床的两个流派。目前在世界范围坐标磨床的主要供应商为 MOORE、HAUSER 和中国的成都宁江机床集团股份有限公司。

MOORE 流派和 HAUSER 流派的主要区别在于用何种机构实现锥面的磨削，MOORE 方式的锥面磨削精度更精确，但最大磨锥半角仅 2°；HAUSER 方式磨锥精度相对较低，但操作方便，最大磨锥半角可达 8°。宁江机床集团的坐标磨床采用的是 HAUSER 流派，经过近 40 年的发展，目前成熟产品有数显和数控两个系列可供选择。

最初的坐标磨床是在坐标镗床的基础上演变而来的，到今天也几乎如此，即坐标磨床的底座、工作台（包括回转工作台）以及立柱的布局和相应功能与坐标镗床的结构相差无几，其主要区别在于主轴箱的结构和功能的不同，因而坐标磨床有很高的定位精度。

铝管双圆弧形凸起的成形过程及模具

TG76B

常州市盛士达汽车空调有限公司 (213022) 唐 信

在汽车空调制冷剂管接头连接中，用以固定套管的双圆弧形凸起（见图1），在以前加工时采用两次装夹进行加工，前后管径的同轴度低，生产效率低，不能满足大批量生产的需要。为此我们设计了一副双圆弧形凸起同时成形的夹模，一次装夹能形成两个圆弧形凸起。

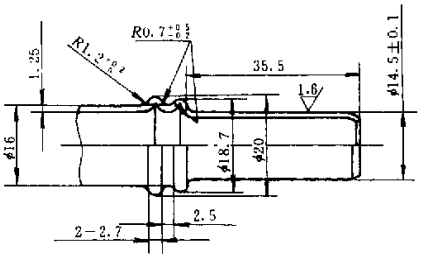

图 1

1. 成形规律及工艺分析

铝管管端镦压成形同样服从镦压成形规律，参与变形部分的管坯初始长度 L_0 和壁厚 t 之比，即镦粗比 $\lambda = L_0/t \leqslant 3$ 时，壁厚可在一次变形中增大任意程度而内、外壁不产生拆叠缺陷，当 $\lambda > 3$ 时，内壁会出现拆叠。因此必须限制壁厚一次变形的增加量。

分析成形过程并经过加工观察比较，发现管子在无芯轴支撑的条件下中部镦压时，其变形过程和最终形状决定于两个因素：材料性质及其几何尺寸 λ。

早期的坐标磨床只能对有坐标要求的孔系进行加工，通过一些专用附件也能实现部分轮廓的加工。在20世纪70年代出现了数控坐标磨床，使其性能得到了很大的提高，数控化的坐标磨床可以更高效地实现轮廓的加工，操作也更为简便。目前最先进的坐标磨床是坐标磨削中心，即机床的磨头能够自动进行更换，配有工件检测和刀具检测功能，在监控刀具磨损的同时能对砂轮进行自动修正。对于坐标磨床而言，长期的课题是如何进一步改善加工工艺的同时提高其加工效率，降低设备对工作环境的要求，在模具行业推广应用的同时普及到生产车间，真正成为精密零件的生产型设备。

成都宁江机床集团的C系列坐标磨床简介：该系列机床现有数控与数显两大类，有MMX4132、MK2945C及NJ－MK4280等。该系列机床底座、立柱均采用框架式对称结构，使用密烘铸铁，有最佳的热对称性和结构稳定性。底座采用整体式铸造工艺，并合理布置加强筋；滑板导轨采用“平－V－平”多点接触定位方式，工作台采用高精度的双V形结构，有效地保证了结构刚性并有利于机床精度的长期保持。

机床以湿磨为主，具备粗磨、半精磨和精磨能力，并可实现强力磨削。当采用4 500～22 500r/min磨头时可用硬质合金铣刀进行轻微铣削。机床行星主轴前支承采用自制的精度高于B级的高精度滚柱轴承，后支承采用精密主轴专用轴承（B级），保证了主轴回转精度高；高速磨头主轴采用进口名称高速轴承，套筒采用公司自制的自循环直线滚动轴承保证往复精度，磨轮最大往复冲程速度达10m/min，冲程频率150次/min（冲程为25mm时）；U 轴进给采用本公司的专利机构，能进行砂轮修正与补偿；Z 轴采用伺服电机控制。

在模具制造中，对于大型且型腔结构复杂、型腔较深的精密模具，特别是有深窄槽、深小孔加工要求的模具，电加工是一种有效的加工手段；对于交货期很短、有较高的硬度和精度要求的中小型模具，可以考虑采用高档次的数控高速铣床进行加工；而对于精度要求高、硬度要求高，并且使用寿命要求严格、型腔结构相对复杂的中小型精密模具，可以采用坐标磨床进行磨削和铣削加工，能有效地保证产品质量和提高模具的使用寿命，对于冷冲模等在工作时有强力冲击的模具加工方面，更能体现坐标磨床的优越性。

（收稿日期：20020815）