

文章编号 :1007-649X(2001)01-0022-04

# 模具加工中的高速切削技术

李 倩,杨明珊,董斌斌,余晓容

( 郑州工业大学橡塑模具国家工程研究中心 河南 郑州 450002 )

摘 要 :叙述了高速加工技术在模具制造中应用的意义 ,以及实现高速加工所必需的一些核心技术 .通过与常规的电火花加工方式的比较 ,论述了高速加工的优越性能及高速切削加工对机床的主轴、刀具和 CAM 软件的要求 ,指出在型腔模制造过程中 ,选择加工方式主要取决于型腔的几何形状、材料的硬度和所要求的工艺参数 ,最后以加工实例说明了高速切削是现代模具加工的发展方向之一 .

关键词 :高速加工 ;加工参数 ;刀具 ;模具

中图分类号 :TH 161 文献标识码 :A

## 0 引言

在现代工业中 ,模具扮演着越来越重要的角色 ,如汽车、家电及电子产品的制造都离不开模具 .由于市场竞争日趋激烈 ,提高模具精度 ,缩短制造周期 ,提高生产率 ,是模具行业面临的紧迫问题 .目前 ,许多新的技术和加工手段正在迅速崛起 ,而高速加工( High Speed Machine )技术的高速切削加工( High Speed Cuting )的发展取得了很好的效果 ,已成为模具加工行业新的发展趋势 .

## 1 高速加工的定义

早在 30 年代 ,Salomon 就提出了高速加工的概念 ,其研究成果表明 :随着切削线速度的增加 ,当达到某状态时 ,大量的切削热量被高速离去的切屑带走 ,切削温度及切削力会减小 ,然后切削温度随着切削速度的增加而急剧增加 ,且不同材料有不同的加工临界值 ,因而高速加工范围也不同 .因此有人笼统地将主轴转速达到 8 000 r/min 以上 ,平均进给速度 10 m/min 以上 ,最大进给速度 30 m/min 以上 ,进给加速度 3 m/s<sup>2</sup> 以上的切削加工定义为高速加工<sup>[1]</sup> .如对于小型模具细节结构的加工 ,主轴转速达 40 000 r/min 以上 ,而对于大型汽车覆盖件模具的加工 ,一般主轴转速 12 000 r/min 以上 ,也都称为高速加工 .如米克朗 HSM700 机床<sup>[2]</sup> 的立式铣削主轴转速范围 100 ~ 42 000 r/

min ,轴加速度最高可达 10 m/s<sup>2</sup> ,最大切削进给速度 20 m/min ,是典型的高速铣削机床 .

## 2 模具的高速切削加工与传统加工比较

高速切削加工与传统数控加工方法的主要区别在于进给速度、加工速度和切削深度的工艺参数值不同 .高速切削加工采用高进给速度和小切削参数 ,而数控加工则采用低进给速度和大切削参数 ,如图 1、图 2 所示 .另外 ,高速切削加工对机床主轴、切削刀具、计算机数控系统、伺服进给系统和数控编程方法的要求与传统的加工方式不同 .过去模具的型腔加工是电火花( EDM )一统天下 ,但近年来 ,除了窄缝、深槽以及很细的纹理 ,非用电火花加工的以外 ,一般形状不太复杂的型腔及三维轮廓已能在高刚度的铣床上或加工中心上用涂层铣刀进行高速加工 ,其加工效率要比 EDM 高 .而实际上 ,高速铣削更适合于比较平坦的浅型腔加工 ,而对于深型腔和具有内尖的型腔模具 ,表面有花纹或图案的模具的加工起来都存在一定的困难 .表 1 以电火花加工与高速铣削加工的比较为例<sup>[2]</sup> ,对它们的加工工艺进行比较 .

事实上 ,高速铣削和电火花在型腔模具的制造中是相辅相成的 ,在型腔模制造过程中 ,采用什么样的加工方式 ,主要取决于型腔的几何形状、材料的硬度和所要求的工艺参数 .

收稿日期 2000-10-08 ;修订日期 2000-12-05

基金项目 国家自然科学基金重点资助项目( 19632004 )

作者简介 李 倩( 1962- ) ,女 ,广东省高州市人 ,郑州工业大学副教授 ,硕士研究生 ,主要从事塑料成型工艺及塑料万方数据

表 1 电火花加工与高速铣削加工的工艺比较

Table 1 Compare EDM with HSM in machining process

项目	电火花加工	高速铣削加工
材料	所有导电材料	所有可切削材料( 钢硬度可达 HRC62 )
几何形状	任意	受深度和半径限制
内部尖角	半径可达到 0.1 mm	底部圆角半径达 0.3 mm 壁圆角半径达 1.0 mm
深槽	取决于电极的制造	长径比小于 10
表面质量	需要再加工	某些应用不需再加工
再加工费用	高	低
表面模糊	可能	侵蚀/锈蚀
几何精度	好	优
去屑能力	更适合大的成型表面及大面积接触	适用于小成形面, 点接触
刀具	电极	简单、标准的产品

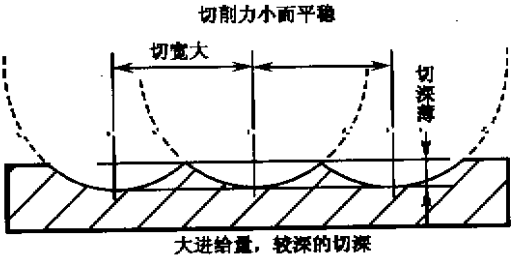


图 1 高速切削方式  
Fig.1 HSM's method

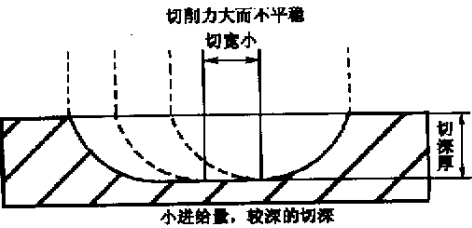


图 2 传统切削方式  
Fig.2 Tranditional cutting method

2.1 高速切削加工及其精密性

生产实践表明 :与传统的切削加工相比 ,用高速加工容易生产和剪断切屑。当切屑厚度减小时 ,切屑温度上升 ,结果切屑更为碎小 ,而当应力和切屑都减小时 ,刀具负载变小 ,工件变形也小 ,产生的磨擦热降低 ,同时大量的切削热量被高速离去的切屑带走 ,故模具和刀具的热变形很小 ,模具表面没有变质及微裂纹 ,因此可大大改善工件的加工质量 ,并且有效地提高其加工精度。一般来说 ,高速加工精度为 10  $\mu\text{m}$  ,甚至更高 ,并且表面粗糙度  $Ra < 1 \mu\text{m}$  ,有效地减少了电加工和抛光工作量 ,因此高速加工是模具型腔加工发展的方向。

2.2 刀具的使用寿命

在高性能计算机数控系统的控制下 ,高速加工工艺能保证刀具在不同速度下工作的负载恒定 ,再加上刀具每刃的切削量极小 ,有利于延长刀具使用寿命。

2.3 淬硬模具的加工

高速加工可以在高速度、大进给的方式下完成淬硬钢的精加工 ,且可达到很高的模具表面质量 ( $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$ ) ,且效率比常规方式高出 4 ~ 6 倍 ,所加工的材料硬度高达 HRC62 ,而传统铣削加工只能在淬火之前进行 ,因淬火造成的变形必须要经手工修整或采用电加工最终成形。现在则可以通过高速加工来完成 ,省去了电极材料、电极加工编程及加工 ,以及加工过程所导致的表面硬化。另外 ,由于高速加工切削量少 ,从而提高了工件的表面光洁度 ,加上较高的加工精度 ,所以不仅仅是省去了过去机加工和电加工几道工序 ,还省去了电加工后的磨削和抛光的工序 ,加工工序的简化对缩短生产周期的贡献甚至可超过高速加工速度提高而产生的价值。

2.4 工作效率

模具制造中 ,采用高速铣对模具进行高速精加工 ,可改进模具的表面光洁度和几何精度 ,除最后的油石打磨工序外 ,可免除所有的手工精整。虽然切削深度和厚度小 ,但由于主轴转速高 ,进给速度快 ,金属切除量反而增加了 ,加工效率也提高了。如加工注射模( 钢 1.2343 ,HRC56 )的型腔 ,可先生产电极 ,然后采用电火花工艺的间接加工方法来完成 ,也可直接采用高速切削技术。就加工电极而言 ,用常规切削工艺需 8 h ,而用高速切削同样的电极仅需 30 min ,采用高速切削技术在淬硬材料上直接加工同样型腔仅需 53 min ,模具型腔的表面粗糙度值达到  $Ra0.4 \mu\text{m}$  [2] ,不需进一步的手工抛光。

3 满足高速加工的切削刀具

使刀具磨损最小和保持较长的刀具寿命对提高加工精度和效率极其重要。切削速度低时 ,刀具主要是磨损损坏 ,或是瞬间破碎和热/机械金属疲劳。在高速加工过程中 ,很高的温度在刀具和切屑之间弥漫 ,既有热的性质 ,又有化学特性 ,所以刀具材料和工件材料的匹配很重要。高速切削刀具与加工的模具材料必须有较小的化学亲和力 ,优良的机械性能和热稳定性 ,良好的抗冲击、耐磨损和抗热疲劳的特性。选择刀具的四大要素为 :模具

材料、刀具材料、工具几何形状和切削条件。高速加工的刀具材料必须根据模具材料和加工性质来选择。目前,陶瓷、立方氮化硼(CBN)、涂层硬质合金刀具等均可作为高速切削模具钢件的刀具材料<sup>[3]</sup>。其中,陶瓷以化学稳定性好,具有良好的耐磨性,能以比硬质合金更高的切削速度进行切削加工。然而它的硬度、韧性低于 CBN,可用于加工硬度  $HRC < 50$  的模具材料。而 CBN 以其高硬度、极强的耐磨性、高温化学稳定性及良好的导热性,用于铣削淬硬钢、冷硬铸铁、钛合金等材料。涂层硬质合金因涂层不同而具有切削多种材料的能力。

## 4 高速切削加工对机床的要求

### 4.1 主轴

主轴的动平衡性能要好,回转精度高,具有良好的热稳定性能并能传递足够的力矩和功率,且能承受高的离心力。主轴刚性好,有恒定力矩,带有检测过温的装置和冷却装置。如 Makino 的 A55 型高速铣床的主轴采用主轴轴身直接构成电动机的整体式主轴,这种方式的主轴在高速转动时可起到减震和减噪效果,同时采用轴心冷却方式以实现高功率输出,在极短时间内对主轴提供巨大的动能而主轴却能够经常保持低于壳体的温度。

### 4.2 机床

①机床必须具有足够高的刚度和最佳的阻尼特性,以防止切削时刀具颤振对工件表面质量产生不利影响<sup>[4]</sup>。②运动相对轻些,以适应进给轴的快速移动。③要有高的动态特性:高主轴转速、高轴向进给率、高加/减速度。④导轨摩擦系数要小。

### 4.3 快速换刀系统及良好的刀具夹紧技术

机床配有自动刀具交换器,如允许预先准备加工下一个零件的全部刀具,使刀具交换的拾取过程非常快捷。如瑞士米克朗刀具的自动换刀时间只需 1.6 s。另外传统的长锥柄刀夹不适合用于高速加工,应采用锥部与主轴端面同时接触的双定位刀夹。如德国的 HSK 空心刀柄。夹紧装置使铣刀与主轴锥度刀柄很好地连接在一起用以保证刀具与主轴的最优同轴度。

## 5 高速加工对 CAM 软件的要求

### 5.1 CAM 系统应具有很高的计算编程速度

高速加工中采用非常小的进给量与切削厚度,对 NC 程序的要求比对传统的 NC 程序要求严格得多,要求计算速度快、方便、节约编程时间等。

### 5.2 全程自动过切处理能力及自动刀柄干涉检查

高速加工以高出传统加工近 10 倍的切削速度加工,一旦发生过切,其后果不堪设想,故 CAM 系统必须具有全程自动防过切处理能力。高速加工的一个重要特征是能够使用较小直径的刀具加工模具的细节结构,这就要求 CAM 系统能够自动提示最短夹刀长度并自动进行刀具干涉检查。

### 5.3 进给率优化处理功能

为了确保最大的切削效率,并保证在高速切削时加工的安全性,CAM 系统应根据加工瞬时余量的大小自动对进给率进行优化处理。

### 5.4 符合高速加工要求的丰富的加工策略

高速加工对走刀方式有着特殊要求,因而要求 CAM 系统能够满足这些特定的工艺要求。

(1)具有待加工轨迹监控功能,目的是避免刀具轨迹中走刀方向的突然变化,避免突然加速或减速,以免造成局部过切或残留,甚至造成刀具、设备的损坏;

(2)刀具轨迹编辑优化功能非常重要,可通过对刀具轨迹的复制、旋转、裁剪、修复等操作来避免重复计算,减少多余空刀,提高效率;

(3)提供较强的插补功能,在直线、圆弧插补基础上应用样条、渐开线、极坐标、圆柱、指数函数和三角函数等特殊曲线插补。这样可用一条加工指令来表示原来可能需要几十段 NC 代码才能表示的图形,以减小 NC 代码文件;

(4)应具有“加工残余分析”功能,使得系统准确地知道每次切削后加工残余所在的位置。

### 5.5 高速加工编程应注意的问题

残余量加工或清根加工是提高加工效率的重要手段,一般应采用多次加工或采用系列刀具从大到小分次加工,直至达到模具所需尺寸,不应用小刀一次加工完成。刀具应缓慢切入工件,下刀或行间过渡部分最好采用斜式下刀或圆弧下刀,不宜垂直下刀直接接近模具材料,同时,缓慢地从一个切削层进入另一个切削层比切出后再突然进入另一个切削层要好;其次,尽可能地保持稳定的切削参数,包括保持切削厚度、进给量和切削线速度的一致性;此外,当遇到某处切削深度有可能增加时,应降低进给速度,因为负载的变化会引起刀具的偏斜,从而降低加工精度、表面质量和缩短刀具寿命。这些对高速加工是否成功是至关重要的。

值得注意的是,不是所有 CAM 软件都能用于高速加工数控编程。国外已适用于高速加工编程

的成熟的软件包 ,如英国 DelCAM 公司的 Power-Mill 软件模块 ,还有一些机床厂商专为高速加工开发的 CAM 软件 ,如 Makino 公司将它的 FFAUT 软件的 FF 加工模块集成到美国 UGS 公司的 CAM 软件中 .现在 ,国内也有相关的软件出现 ,如北航海尔华正软件有限公司研制的 CAXA - ME 软件 .

### 6 高速切削的应用

在高速加工中 ,不同工件材料和刀具直径要求的主轴转速与进给速度不一样 .如表 2 所示 .机床的主轴转速  $N$  与刀具材料及切削速度和刀具尺寸有关 .如立铣刀直径 20 mm ,由公式  $N = V \times 1000 / (\pi \times D)$  ,得到不同刀具材料所需的加工参数 ,如表 3 所示 .

表 2 工件、刀具与主轴转速和进给速度的关系

Table 2 The different material and cutting tool has different demand for main - revand feedrate

工件材料	刀具直径/ mm	主轴转速/ ( r/min )	进给速度/ ( mm/min )
预硬钢 < 40HRC	20 10	6000 12000	1300 2500
硬质钢 40 ~ 53HRC	20 10	5000 9000	1000 1800
硬质钢 53 ~ 60HRC	20 10	2000 4000	400 800

说明 :刀片是 TiAlN 涂层球头立铣刀进行粗加工 .

表 3 不同刀具材料所需的加工参数

Table 3 Vary tool material need different machining parameters

刀具材料	切削速度/ ( m/min )	主轴转速/ ( r/min )
硬质合金	80	1250
有涂层的硬质合金	160	2500
钻石涂层的硬质合金	300	4800

以手机型腔模具加工为例 ,如图 3 所示 .模具材料为 H13 ,硬度为 50HRC ,现用日本牧野 HY-PER5 机床进行加工 ,主轴转速为 32 000 r/min ,最大进给速度 6 000 mm/min .粗加工用 6 mm 的 TiAlN 涂层硬质合金球头立铣刀 ,半精加工用 6 mm 球头立铣刀 ,精加工用 4 mm 的 TiAlN 涂层硬质合金球头立铣刀 ,总的加工时间 41 min ,在各加工阶段所需参数如表 4 所示 .

表 4 各加工阶段的参数

Table 4 Parameters of different machining phases

项目	粗加工	半精加工	精加工
主轴转速/( r/min )	12000	12000	32000
进给速度/( mm/min )	3000	3000	6000

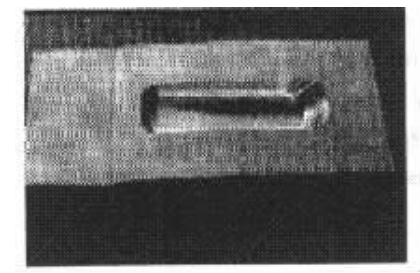


图 3 手机型腔模具

Fig.3 Cavity of cellular phone component

### 参考文献 :

[ 1 ] 杨祖孝 .高速切削加工及其关键技术 [ J ]. 新技术新工艺 2000( 2 ) :17 - 19 .

[ 2 ] 绍克 ·J H .高速切削在模具加工中的应用及发展趋势 [ J ]. 航空制造技术 2000( 3 ) 37 - 38 .

[ 3 ] 徐 强 .高速切削加工技术及其相关技术发展概况 [ J ]. 机械工程师 2000( 3 ) 8 - 9 .

[ 4 ] 周正干 ,王美清 .高速加工的核心核技术和方法 [ J ]. 航空制造技术 2000( 3 ) :13 - 16 .

HSC Technology in Mould Machining

LI Qian , YANG Ming - shan , DONG Bin - bin , YU Xiao - rong

( NERC of Plastic and Rubber Mold & Die ,Zhengzhou University of Technology , Zhengzhou 450002 ,China )

Abstract :This paper narrates the significance of application of HSM technology in mould machining , and some core technology in order to realize HSM . Through comparison with EDM , the advantage for efficiently economize time of process and how to improve precision of machining and so on are described . The demand of HSM for machine tool ' s principal tool , cutting tool and CAM software is mentined . At last , it gives one example to show that HSM is a deleopmental trend in the future .

Key words :high speed machining ; parameter of machining ; tool ; mould