高速加工和五轴联动加工在模具行业中的运用

德国 HERMLE 公司　Michael Reiser
法信（国际）有限公司　楼　巍

德国 HERMLE 公司在德国是最好的中小型五轴联动加工中心的制造者和开发者之一，在模具加工机床的生产上有着 50 多年的历史。拥有员工接近 600 人，2003 年年产值 1.2 亿欧元，平均年生产机床 850 台左右，其中大部分是五轴联动的立式加工中心，HERMLE 公司拥有强大的自行生产能力，整机中 70% 左右零部件自行生产，保证极高的品质。

在正式开始讨论之前我们先把几个名词概念讲述一下：

HPC——High Performance Cutting 的缩写，意为高性能切削。

HSC——High Speed Cutting 的缩写，意为高速切削。

HSM——High Speed Maching 的缩写，意为高速加工。

一、优化工艺链

1. 工艺链的组成（见图 1）

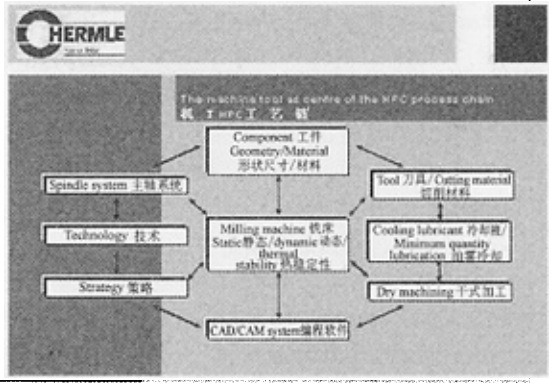


图　1

从图 1 中我们可以看到 HPC 包含了高速切削、五轴加工和五面体加工。在五轴加工中又分三加二轴加工和五轴联动加工。所有这些先进的切削加工方式之间的共性就是均以提高效率为目标。换言之，要实现高效率加工我们可充分运用这些已有的先进加工方式对产品来安排加工工艺，对于机床来讲，一台真正意义上的高效率机床可同时包含上述的所有先进加工技术。就以德国 HERMLE 公司的产品举例，HERMLE 的一款型号为 C40U 的五轴联动加工中心，直线轴的快速移动速度可达到 60m/min，直线轴加速度可达到 1g，第四轴和第五轴即 A 轴和 C 轴旋转速度可达到 60r/min，工作台承重可达到 14 000kg，主轴转速可达到 40 000r/min。所有这些先进的技术性能融合在一台机床里目前尚属少见，但是随着技术水平的发展这必将是机床制造技术的趋势。

2. 机床是 HPC 工艺链的核心（见图 2）

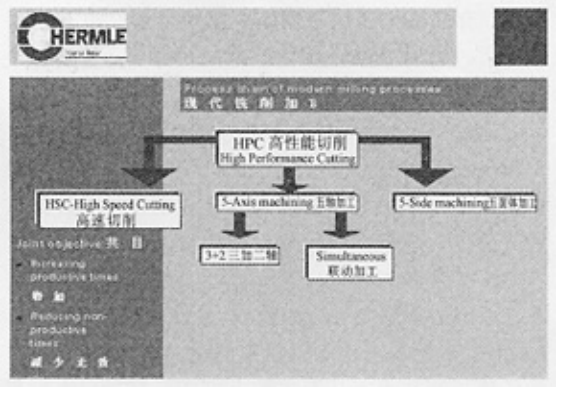


图　2

我们不难发现机床与 HPC 密切相关，离开了机床任何先进的加工方式都是空谈，机床已成为 HPC 的核心。CAD/CAM 软件的发展可谓是现代加工技术发展的一个里程碑，但是软件的飞速发展升级往往总是快于机床的发展，所以为适应和充分发挥软件的功能和优势，机床的综合性能就必须非常理想，例如所配的控制系统必须要有一个非常快的处理器，有一个非常大的存储程序系统，机床本

身必须有非常高的精度和非常高的刚性，机床在机械性能上必须达到高转速、高直线运动速度和高加速度。以德国 HEMRLE 公司产品为例，HERMLE 公司采用的 HEIDENHAI iTNC530 控制系统就是一种专门针对五轴加工和高速加工研发的控制系统，高达 6GB 的硬盘，块处理速度达到 0.5ms，控制系统本身就提供了丰富的适合 HPC 要求的循环指令。同样现代加工技术中刀具技术的发展也注定了机床技术的提高，以干式加工为例，在现代加工技术中特别是模具行业，我们在加工某些材质的金属时提倡采用干式切削，为了冷却刀具我们可在机床主轴的外部配上风冷的喷嘴，一是用来吹走铁屑，同时也为了冷却刀具。后来渐渐随着刀具技术的发展，刀具可适应的转速越来越高，例如转速到了 30 000r/min 以上，水冷或风冷已经明显不能满足要求，这时我们就要依靠一种机床附带的喷油雾系统来起到高速加工时散热功能。近年来随着刀具技术的进一步发展，有些用于高速加工的刀具在刀具中心均带深孔，目的是希望在加工时不但有外部风冷或外部油雾冷却，还要具备内部风冷和内部油雾冷却，此时机床的制造技术又必须提高了，机床厂家开始更改自己的主轴设计，在主轴中心铺设通空气的管道和通油雾的管道，这些管道必须是独立的有良好的密封性能，许多最新的技术被运用到主轴技术之中，目的就是为了在提高功能的同时保持主轴的高可靠性。以德国 HERMLE 机床为例，一台机床可同时提供内外水冷、内外风冷和内外油雾冷却共六种不同的冷却刀具方式。主轴内部有多条通道彼此独立互不干扰。

3.HSC 的优势

HSC 的优势已经渐渐被广泛意识到，已成为目前加工技术发展中的主流，所以现代高性能机床的发展和研制都是围绕着这一主流开展的。简单来讲一台适合于 HSC 的高性能机床如果把它当作一台传统老式机床来使用的话，它的表现效果不一定会好于甚至有时还会差于一台正真的传统老式机床的表现。道理很简单，高速主轴的转矩特性、功率特性决定了机床在低转速下无法输出极高的转矩，传统工艺中的大直径刀具、大背吃刀量、慢速走刀在高速机床上是行不通的。在快速移动部件上，高速加工机床使用的直线导轨可提供 30 ~ 60m/min 的直线移动速度。但是如果在非常慢速的移动情况下刚性不一定比得上传统的矩形导轨，但是线性导轨不用修磨，无爬行，高速运动等特性是传统矩形导轨无法比拟的。见图 3。

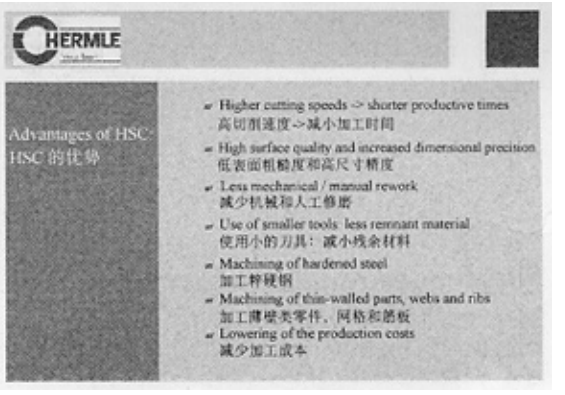


图 3

二、HSC 是 HPC 的一个元素

1. 几种代表性材料的加工工艺特性（见图 4）

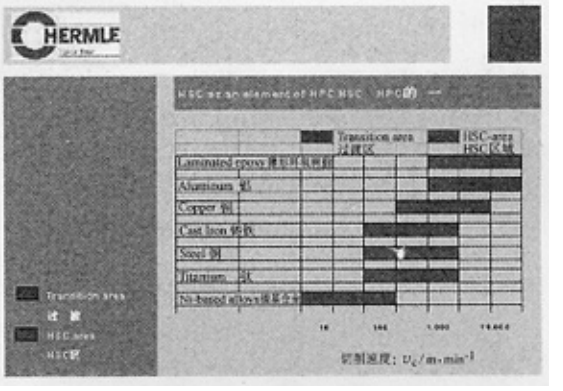


图 4

2. 采用 HSC 的优势和局限性

优势：通过高速切削实现高性能铣削，轴向和径向的切削力小了，表面粗糙度降低了，轮廓精度提高了，工艺安全性提高了。

局限性：加工钢件时，如果 $v_c \geq 6\,000$m/min 就会损坏工件表面，刀具也会受到极大的考验。

3.CAM 软件系统的要求

加工时间越短越好，可延长刀具寿命。走刀方向不能突然变化，修圆式收刀，通过半径或下沉式斜坡缓和进刀。高效率剩余量判断和加工，不要全部浸入材料中。在刀具上保持恒定的切削压力，连续切削，均匀应力，进给率优化。

4.HSC 粗加工轮廓（见图 5）

保持刀具受力恒定均匀；对于凸模部分采用从外到里进刀；对于凹模部分采用从里到外进刀；没有尖角，圆形轮廓和圆角收刀；通过圆弧、螺旋或倾角逼进；恒定的步距间隔，间隔最大不超过40%的刀具直径；粗加工接近尾声时进行最后的轮廓切削。

轮廓切削：目的是为了下一步精加工打基础，具体方法是让刀具沿着轮廓走刀，留下均匀的余量，步距为 40%的刀具直径。

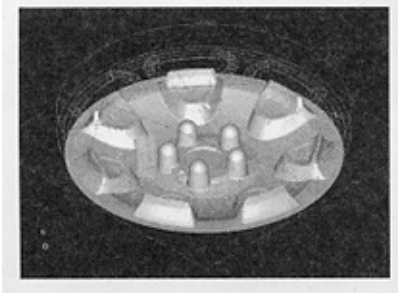


图 5

5.HSC 精加工轮廓（见图 6）

保持各表面的余量均匀；避免刀具全部浸入材料中；在刀具上保持恒定的切削压力，连续切削；走刀方向不能突然变化；圆弧逼近，轮廓退刀；对于内轮廓角落加工，尽量按照圆弧编程逼近。

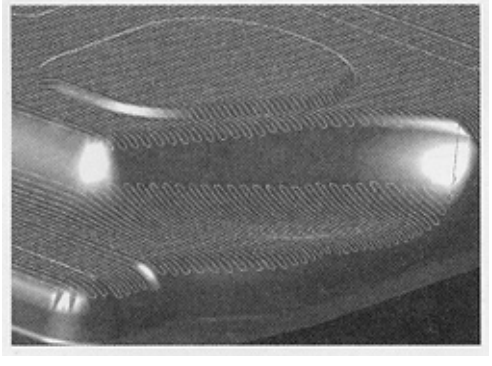


图 6

三、五轴联动加工在模具加工中的应用

1. 应用情况

深的型腔，带有非常陡峭的型腔壁；型腔底部，要加工非常小的角落通常需要很长的刀具；若采用 EDM 电加工非常耗时耗财，采用三轴或三加二轴编程非常难实现的加工。

2. 应用条件（见图 7）

以上列举的这些要求中后置处理部分的重要性已经越来越明显，目前在国外有些软件公司已着手开发专门的后置处理软件与机床厂商进行捆绑销售，目的就是为了在软件与机床之间建立起一座非常稳固的桥梁。

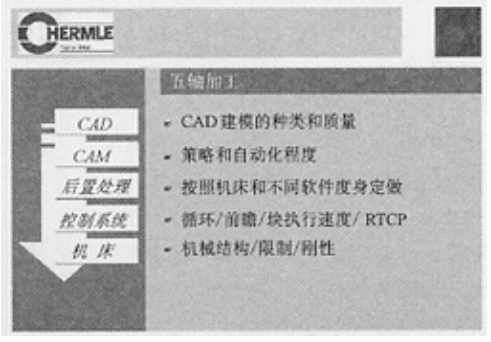


图 7

3. 五轴联动加工具体实现方式（见图 8）

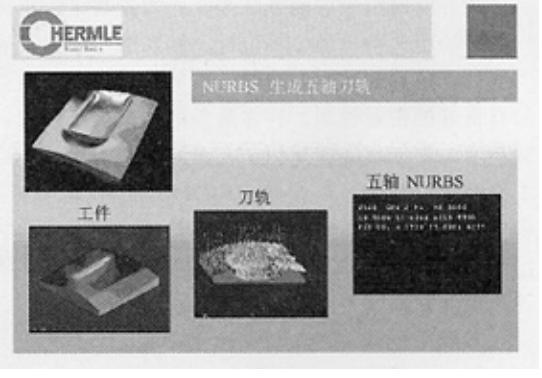


图 8

对称式加工：即将某些对称零件的每个相同单元采用三加二轴加工，然后通过五轴程序将各个对称部分全部连接起来。这种加工方式可保持一个恒定的偏摆角度，不易产生干涉，可利用现成的三加二轴加工程序。

HSC 五轴联动加工策略：包含螺旋面方式表面加工；等距底面加工；由倾角决定的余量加工；由 NURBS 生成五轴刀具轨迹。

（收稿日期：20040608）