

先进模具数字化制造技术及其在航空航天领域的应用

Advanced Digital Manufacturing Technology for Mould and Its Application in Aerospace Industry

思美创(北京)科技有限公司 栾合俊



栾合俊

毕业于北京航空航天大学航空宇航制造工程专业。现任思美创(北京)科技有限公司技术总监,主要从事Cimatron软件的技术支持、服务工作,在机械制造、CAD/CAM的应用等领域具有丰富的工作经验,并多次在相关刊物上发表行业应用方面的技术文章。

近10年来,我国模具工业的发展突飞猛进,这要归功于国家对模具工业发展的高度重视以及模具工业人才培养、软硬件工具的飞速发展。无论是现在的生产实践还是未来发展趋势,数字化都是模具工业发展的必由之路,在这方面,以高精尖的航

我国的模具企业已经开始将先进的数字化技术应用于模具制造,包括民用、航空航天等领域。而且近几年发展迅速,部分企业已经有了较好的业绩,甚至开始走出去到欧美市场承接订单。但是数字化技术的普及还有待深入、提高,我们的模具行业发展水平尤其是复杂、大型的高精尖模具与欧美一些国家、日本等相比还有很大差距。应当大力开展模具数字化制造技术的研究开发,使数字化制造技术普遍应用于模具工业,用来改造传统的模具工业,这是我国模具工业发展的大势所趋。

航空航天领域的模具技术发展状况最具代表性。

随着数字化技术的快速发展和普及,数字化已经应用到了模具制造的全过程,包括数字化设计、加工、分析以及制造过程中的信息管理,即模具的CAD/CAE/CAM/DNC技术。有实力的模具企业正在不断提高模具的设计、制造水平,逐渐将工作重点转向大型、精密、复杂及长寿命模具的开发与研制。随着行业内的良性竞争以及对质量、效率要求的不断提高,数字化技术水平也在不断提高。快速原型设计、高速加工、镜面加工、微

铣削、标准化率和逆向工程等概念、术语在模具制造领域大家都已耳熟能详,也足以说明数字化技术已被广泛应用。

从CAD/CAM软件应用看,一体化的设计、制造软件逐渐被行业认可,比单纯的设计或编程工具容易被用户接受。所谓的一体化设计、制造,是指从模具设计、加工、电极设计和加工完全由一个软件完成,减少了设计、编程间的数据转换和错误,提高了制造效率和质量,这也会给企业的管理带来不少好处。以色列Cimatron公司的CimatronE软件

就是典型的模具一体化设计、制造软件。

CimatronE 的快速分模技术一直处于行业领先地位。首先,基于混合造型理论,在分模过程中不必区分模型的实体、曲面属性便可自动分模,避免了数据模型处理的繁琐过程,同时也提高了分模的成功率和效率。其次,CimatronE 提供了专业的分模工具,可以实现分模线的预览、分析以及分模面自动生成等功能。友好的用户界面更人性化,易学易用,大大提高了分模的质量和效率。

从标准化角度看,CimatronE 提供了丰富的模具标准库和标准模架。标准件和标准模架的使用有利于提高企业的标准化程度和生产率。

软件系统是实现设计、制造一体化的基本手段并能支持并行工程。在确定模具的型芯、型腔的同时便可以开始模具结构设计和数控编程,不需要数据转换和模型的进一步处理。CimatronE 的数控编程功能代表了当今数控编程领域的先进技术,是真正的基于毛坯残留知识的加工,能支持高速加工、微铣削加工,具有强大的五轴加工和多轴机床后置处理能力以及机床仿真功能,确保了加工的高效、高质和高安全性。

高速加工编程时加工方法的选择

随着高速加工中心的引进,模具企业开始应用高速加工解决方案来实现高精、高效模具的制造。采用高速铣削加工编程与数控伺服系统、加工材料和所用刀具等方面有关。使用 CAM 系统进行数控编程时,除去刀具选择、切削用量以及合适的加工参数可以根据具体情况设置外,加工方法的选择就成为高速加工数控编程的关键。如何选择合适的加工方法来较为合理、有效地进行高速加工的数控编程,需要考虑以下几个方面的问题:

(1) 高速加工中心具有前视或预览功能,在刀具需要进行急速转弯时加工中心会提前进行预减速,在完成转弯后再提高运动速度。机床的这一功能主要是为了避免惯性冲击过大,从而导致惯性过切或损坏机床主轴而设置的。有些高速加工中心尽管没有这一功能也能较好地承受惯性冲击,但这种情况对于机床的主轴也是不利的,会影响主轴等零件的寿命。在使用 CAM 进行数控编程时,要尽一切可能保证刀具运动轨迹的光滑与平稳。

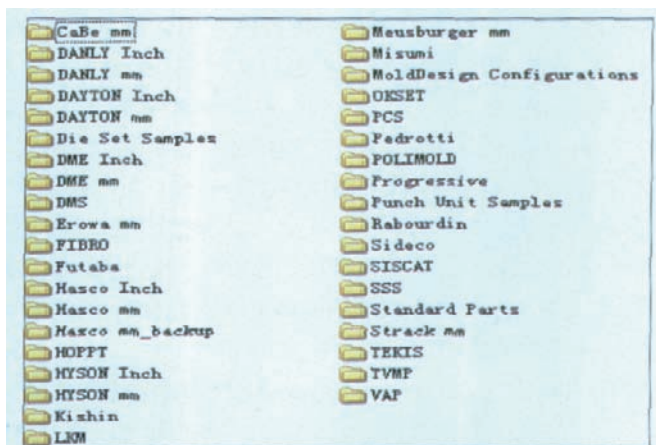
(2) 由于高速加工中刀具的运动速度很高,而刀具通常又很小,这就要求在加工过程中保持固定的刀具载荷,避免刀具过载。因为刀具载荷均匀与否会直接影响刀具的寿命,对机床主轴等也有直接影响,在刀具载荷过大的情况下还会导致断刀。

(3) 采用更加安全和有效的加工方法与迅速进行安全检查校验与分析。例如:进行刀柄、夹头干涉检查,保证刀路轨迹的安全;并设置程序代码如下:

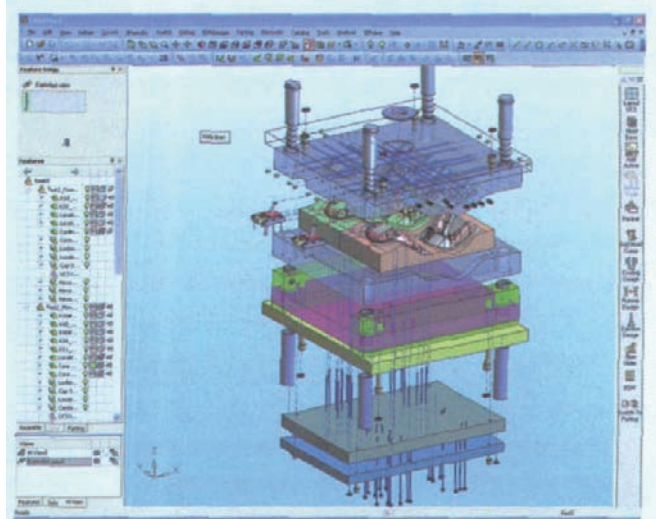
```
RE-EXECUTION WILL BE
DUE TO PROCEDURE BEING
SUSPENDED;
```

```
* P R O C E D U R E
EXECUTION START TIME:
08/10/2004.13:59:30;
```

```
* See Set:NC Special
```



模具标准件库



模具装配爆炸图

Approx. Faces;

```
* =====;
* ENTRY POINT: X=-65.30,
Y= 2.20, Z=20.00;
* ENTRY POINT: X=-33.64,
Y=56.20, Z=15.00;
* ENTRY POINT: X=-38.17,
Y=56.20, Z=10.00;
* ENTRY POINT: X=-38.23,
Y=56.20, Z=5.00;
* ENTRY POINT: X=0.00008,
Y=-51.80, Z=0.00000;
* PROC.OPTIMIZATION
START TIME:08/10/2004.13:59:31
* THE CURRENT SET
OF HOLDERS GOUGES THE
STOCK;
* HOLDER 1 SHOULD BE
```

RAISED TO 34.88 ABOVE THE CUTTER TIP (刀柄 1 应高出刀尖 34.88mm);

* EXISTING CUTTERS CANNOT AVOID GOUGING (当前刀具无法避免干涉);

* PROC. OPTIMIZATION
END TIME: 08/10/2004.13:59:41;

* PROCEDURE EXECUTION
END TIME : 08/10/2004.13:59:41.

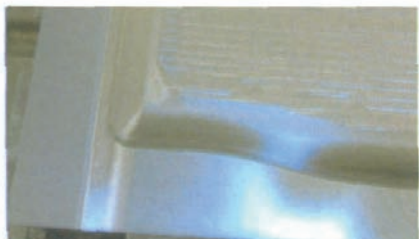
高速加工编程采用的编程策略

1 采用光滑的进、退刀方式

在 Cimatron 系统中, 有多种多样的进、退刀方式, 如在走轮廓时, 有轮廓的法向进、退刀, 轮廓的切向进、退刀和相邻轮廓的角分线进、退刀等。在进行高速加工时应尽量采用轮廓的切向进、退刀方式以保证刀路轨迹的平滑。加工曲面时刀具可以实现 Z 向垂直进、退刀, 曲面法向的进、退刀, 曲面正向与反向的进、退刀和斜向或螺旋式进、退刀等。在实际加工中, 用户可以采用曲面的切向进刀或更好的螺旋式进刀, 而且螺旋式进刀切入材料时, 如果加工区域是上大下小的, 螺旋半径会随之减小以进刀到指定深度, 有些 CAM 系统具有基于知识的加工功能, 在检查刀具信息后发现刀具存在盲区时, 螺旋加工半径不会无限制减小, 以避免撞刀。这些都为程序的安全性提供了周全的保障。

2 采用光滑的移刀方式

这里所说的移刀方式指的是行切中的行间移刀、环切中的环间移刀以及高加工的层间移刀等。普通



镜面效果

CAM 软件中的移刀大多不适合高速加工的要求, 如在行切移刀时, 刀具多是直接垂直于原来行切方向的法向移刀, 致使刀具路径中存在尖角; 在环切的情况下, 环间移刀也是按原来轨迹的法向直接移刀, 也致使刀路轨迹存在不平滑情况; 在等高线加工中的层间移刀时, 也存在移刀尖角。这些会导致加工中心频繁的预览减速影响了加工的效率甚至使高速加工不成为高速加工。

高速加工中采用的切削用量都很小(侧向切削用量和深度切削用量很小), 移刀运动量也会急剧增加, 因此必须要求 CAM 产生的刀路轨迹中的移刀平滑。在支持高速加工的 Cimatron 系统软件中, 则提供了非常丰富的移刀策略, 包括:

(1) 行切光滑移刀。

- 行切的移刀直接采用切圆弧连接。这种方法在行切切削用量(行间距)较大的情况下处理得很好, 在行切切削用量(行间距)较小的情况下会由于圆弧半径过小而导致圆弧接近一点, 即近似为行间的直接直线移刀, 从而也导致机床预览减速, 影响加工的效率, 对加工中心也不利。

- 行切的移刀采用内侧或外侧圆弧过渡移刀。这种方法在一定程度上会解决在前面采用切圆弧移刀的不足。但是在使用非常小的刀子($\Phi 0.6\text{mm}$ 的球头刀)进行精加工时, 由于刀路轨迹间距非常小(侧向切削用量为 0.2mm), 使得这种方法也不够理想。这时用户可以考虑采用下述的更为高级的移刀方式。

- 切向的移刀采用高尔夫球竿头式移刀方式。

(2) 环切的光滑移刀。

- 环切的移刀采用环间的圆弧切出与切入连接。这种方法的弊端是在加工 3D 复杂零件时, 由于移刀轨迹直接在 2 个刀路轨迹之间生成圆弧, 在间距较大的情况下会产生过切。因此这种方法一般多用于 2.5

轴的加工, 在加工中所有的加工都在一个平面内。

- 环切的移刀采用空间螺旋式移刀。该种移刀方法由于移刀在空间完成, 避免了上述方法的弊端。

(3) 层间的空间螺旋移刀。在进行等高加工时, 用户要采用螺旋式等高线间的移刀, 确保切削载荷的平稳性、均衡性。

3 采用光滑的转弯走刀

采用光滑的转弯走刀与进行光滑的移刀一样, 对保证高速加工的平稳与效率同样重要。

(1) 圆角走刀。这种走刀方式并不是什么新的走拐角方式, 一般 CAM 系统都有提供。该方式较适合高速加工, 用户可予以采用。

(2) 圆环走刀。这种方法是较为高级的走拐角方式, 就像驾驶高速行驶车在高速公路上跑时, 要想在不损失速率的情况下转弯和保证转弯更平稳以及沿着立交环岛来转弯一样。这种方法在走锐角弯路时效果特别明显。

4 采用更适合高速加工的加工方法

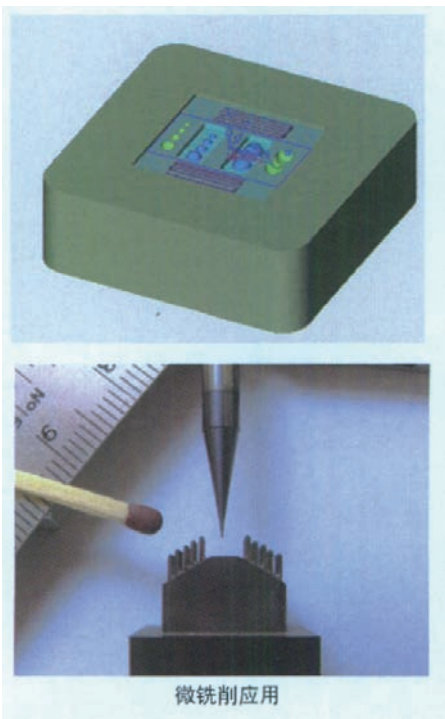
Cimatron 先进的 CAM 系统提供了许多更适合高速加工的加工方法。使用这种方法进行轮廓加工时, 刀具一边沿轮廓切削, 一边在纵向进刀, 这保证了刀具载荷的稳定, 刀路轨迹也自然平滑。采用摆线式加工是利用刀具沿一滚动圆的运动来逐次对零件表面进行高速与小切量的切削。采用这种方法可以有效地进行零件上窄槽和轮廓的高速小切量切削, 对刀具具有很好的保护作用。进行零件的精加工时, 在加工中心支持 Nurbs 代码的情况下, 应采用 Nurbs 编程。这样产生的刀路轨迹的数据量不仅少, 而且刀具运动也更光滑、平稳、高效。

5 利用 CAM 内在的优良功能

许多 CAM 系统都有很多高级的加工能力, 充分利用和挖掘这些能力将极大地改善加工的效果。

粗切时使用具有层间二次粗加工优化的功能。在等高线粗切中,由于零件上存在斜面,在斜面上会留有台阶,导致残留余量不尽均匀。这会对后续的加工带来不利影响,如刀具载荷不均匀。尽管系统具有载荷的分析与优化功能,但毕竟将影响加工的效率和质量,因此,在进行粗切时,用户应选择具有优良的层间二次粗加工功能,在粗切时就得到了余量均匀的结果,为后续加工提供了更有利的条件,也提高了加工的效率。

在最后阶段对零件进行清根时,利用具有斜率分析的清根算法,对陡峭拐角和平坦拐角区别对待,即对陡峭拐角的清根使用等高线一层一层清根,对平坦区域采用沿轮廓清根,这样可以更好地保护刀具,获得更好



的表面质量。

在等高线精加工时,应使用螺旋式改变进刀位置的方式,以避免在固定位置留有进刀痕迹,保证加工结果的整体优良。

在编程过程中,应利用有效的刀柄干涉检查功能,确保刀具的安全性。要选择具有毛坯残留知识加工的系统,这种系统的干涉检查更为合

理,因为系统能将刀具信息与上次加工的残留毛坯进行校验。

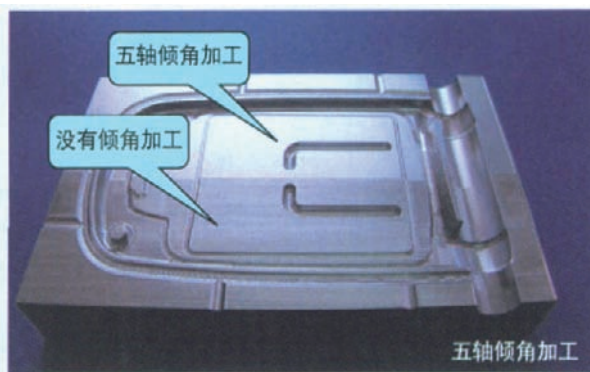
用户可以利用 Cimatron 系统提供的结果校验工具进行余量可视化分析,加快作出进一步调整加工策略和进行补充加工的决定。

我们可以利用 Cimatron 系统具有的自动化编程机制,制定结合工厂实际的加工模板,提升加工的效率与可靠性。同时可以针对高速机床的控制系统编制适合高速加工的后置处理,指导 NC 程序生成正确加工代码。

微铣削是加工微小零件和高精密零件的一种全新的加工技术,可获得高精度的加工结果,有效公差可达 0.0001mm,最小刀具直径可达 0.1mm。微铣削除了面向微细零件外,还能够对常规或者大型模具的细小几何特征进行高精密加工,得到镜面效果的超高精度的表面质量。微铣削加工可以替代电火花加工,提高模具制造效率。

五轴加工除应用于复杂的零件加工外,也逐渐应用于复杂模具、大型模具、深腔模具加工,部分取代了电火花加工。应用策略为定位加工开粗,联动精加工。通过五轴加工工艺的应用,提高产品质量,缩短交付周期,大大提高了企业的行业竞争力。

五轴加工与普通的三轴加工相比有本质区别,安全性对五轴加工极为重要,编程阶段就必须考虑加工机床的运动情况、行程(直线、角度等)、运动方向(直线运动、旋转运动等)。由于用于五轴加工的模具大多具有结构复杂、材料价格较高、工期长以及机床价格昂贵的特点,一旦出现事故会大大提高制造成本,给企业带来巨大损失,所以对于大型模具加工的安全要求非常高。CAM 软件发展到今天,在安全性上采用了多方面措施:



编程阶段有干涉过切检查、刀长计算、线框刀路模拟、实体刀路模拟以及机床仿真等手段。以上所有策略都仅限于编程阶段的理论检查,最为重要的是机床后置处理阶段的工作是否做得完善、准确无误,如果后置处理出现问题,那么前面的编程无论多么完善,都会在实际加工中出现,所以后置处理在整个软件服务阶段占据非常重要的位置。有时软件功能很强,但技术支持能力不够,也会给用户带来效率或直接的经济损失。所以企业在选择软件解决方案时,既要考查软件的功能,又要关注软件企业的售后服务能力。

结束语

综上所述,我国的模具企业已经开始将先进的数字化技术应用于模具制造,包括民用、航空航天等领域。而且近几年发展迅速,部分企业已经有了较好的业绩,甚至开始走出去到欧美市场承接订单。但是数字化技术的普及还有待深入、提高,我们的模具行业发展水平尤其是复杂、大型的高精尖模具与欧美一些国家、日本相比还有很大差距。应当大力开展模具数字化制造技术的研究开发,使数字化制造技术普遍应用于模具工业,用来改造传统的模具工业,这是我国模具工业发展的大势所趋,国家、企业和从业于模具行业的各类人员都应给予高度重视。

(责编 玉龙)