

# 模具型腔数控粗铣工艺分析研究

鹿洪荣 庞继伟

(济南铁道技术职业学院, 济南 250013)

**摘 要:**进行了模具型腔数控铣削加工工艺分析研究。介绍了数控铣削刀具与切削用量。对模具型腔加工特征进行详细分析,基于 UGNX 软件确定了对应于各种特征的加工方法和刀具。提出了模具型腔粗铣加工刀具简易组合方法,进行了走刀方式分析比较。

**关键词:**数控铣削 模具型腔 加工特征

## 1 引言

模具型腔数控铣削加工工艺典型的流程为:粗铣—半精铣—精铣—清角。影响型腔数控铣削工艺方案选择的因素有很多,主要有加工材料、加工方法、加工设备、走刀方式、刀具参数、切削用量、加工精度、加工余量、装夹方式、下刀位置、进退刀方式等等。UGNX 的 CAM 铣削模块功能强大,提供了平面铣削、型腔铣削、固定轴曲面轮廓铣削、多轴铣削加工方式,可以很好的满足模具型腔的加工要求,因而在模具制造业得到了较为广泛的应用。UG CAM 在整个操作过程中,均提供了交互式产生刀位轨迹的方法,用户可以根据不同的应用环境,编制合适的加工程序,要求使用者具有较丰富的实际经验及数控加工的技巧。模具型腔几何形状千变万化,但其构成特征的种类是有限的。对每一类加工特征,对应着 UG CAM 的一种或多种有限的加工方法。通过分析对比研究,可以总结一些规律,来指导 UG CAM 编程,提高加工效率和加工质量。基于以上认识,本文将对 UG CAM 模具型腔加工编程中的一些问题进行分析研究。

## 2 铣削参数与铣削刀具

### 2.1 数控加工的铣削参数

合理选择切削用量的原则是,粗加工时,一般以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工成本;精加工时,首先应保证加工质量,兼顾切削效率、经济性。具体数值应根据机床说明书、切削用量手册,并结合经验而定。

粗加工为体积加工,从高的生产率考虑,应在保证刀具耐用度的前提下,使材料的去除率最大,而材料的去除率又与吃刀量(切削深度  $a_p$ 、切削宽度  $a_e$ )、进给速度  $v_f$ 、切削速度  $v_c$  等有关。切削用量各要素中,任何一个要素的增加都会使刀具的耐用度下降,但影响程度不同。影响最大的是切削速度,其次是进给速度,最小的是吃刀量。为使所选的切削用量使生产率高且对刀具耐用度下降影响最小,一般首先选择尽可能大的吃刀量,其次是确定进给速度,最后根据刀具耐用度确定切削速度。

### 2.2 数控铣削刀具

模具型腔数控加工特征与常用刀具如图 1 所示。根据刀具轮廓底面圆角的大小可以分为平底铣刀(直角立铣

刀)、R 刀(牛鼻刀)以及球形刀。

型腔铣削刀具选择与加工特征相对应。生产中,平面零件周边轮廓的加工,常采用立铣刀;铣削平面时,应选硬质合金镶嵌刀片铣刀;加工凸台、凹槽时,选立铣刀;加工毛坯表面或粗加工孔时,可选取镶硬质合金刀片的玉米铣刀、球头铣刀或 R 刀;对一些立体型面和变斜角轮廓外形的加工,常采用球头铣刀、环形铣刀、锥形铣刀和盘形铣刀。

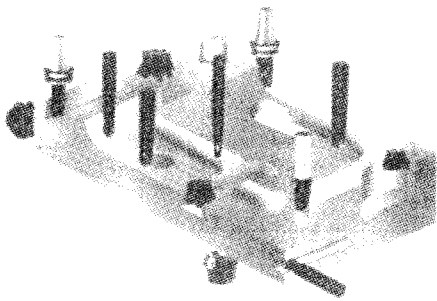


图 1 铣刀类型与加工特征

在模具型腔的数控加工中,最常用到的是立铣刀进行铣削加工。特别是整体式立铣刀和镶片式立铣刀。整体式立铣刀一般为普通高速钢刀具,由于低廉的价格,仍被广泛应用;镶片式立铣刀所镶刀片一般为合金刀片,与一体式刀具相比大大减少了刀具材料的消耗,而且便于更换。

球头铣刀常用于复杂曲面的精加工。与球头刀相比,直角立铣刀在平面加工的切削效率和切削质量方面有明显的优势:一是加工效率高,在相同的加工条件下,平头立铣刀的有效半径相对较大,直角立铣刀可以采用较大的行距,加工效率高;二是切削性能好,球头铣刀的切削刃在不同位置处的切削速度不同,而且在接近球头端点处的切削速度几乎为零,加工后容易在零件表面上留下划痕,而直角立铣刀的切削刃上不同位置处的切削速度相同,因而具有良好的切削性能,因此,只要在保证不过切的前提下,应优先选择平头刀。

对于镶片式牛鼻刀,由于镶片式铣刀在刀具磨损以后只需将磨损的刀片进行转位或者更换,刀杆可以重复使用,因此合金刀片比整体式合金刀的成本降低了许多。又

由于合金刀片又比高速钢刀具在强度、切削效率以及加工质量方面有不小的优势,因此为了适应数控机床对刀具耐用、稳定、易调、可换等的要求,近几年镶片式合金刀片得到越来越广泛的应用。

在保证相同的残留高度下,表 1 对三种刀具(直角立铣刀:EM20;球刀:BM20;R 刀:EM20R4)加工不同特征面切除效率进行了比较。

表 1 切除效率比较

坡角	加工方式	图例	刀具	切削宽度 (mm)	残留高度 (mm)
0°	平面		EM20	12	0.01
			BM20	1.26	
			EM20R4	12	
10°	浅平面加工		EM20	3.03	0.01
			BM20	1.26	
			EM20R4	2.35	
45°	浅平面加工		EM20	1.50	0.01
			BM20	1.26	
			EM20R4	1.35	
75°	等高轮廓加工		EM20	0.04	0.01
			BM20	1.26	
			EM20R4	0.56	
90°	等高轮廓加工			10(切深)	0.01
				5(切深)	
				0.56(切深)	

### 3 模具型腔加工特征与加工方法

模具型腔由多种多个加工特征组合而成。加工时,通常是通过特征分解,针对各种特征确定相应的加工方法、选择刀具。

图 2 所示的模具型腔综合了各种典型特征,通过对该型腔特征分解,得到不同加工特征选用的刀具与铣削方式,结果见表 2。

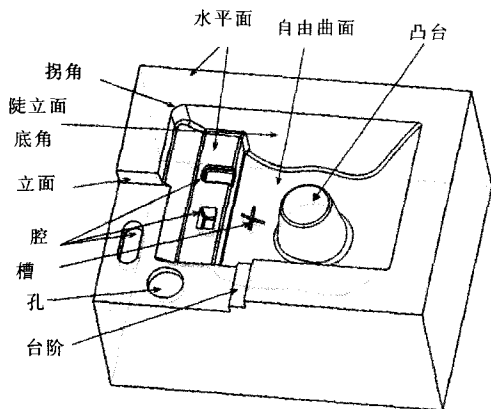


图 2 模具型腔的加工特征

### 4 模具型腔粗铣的刀具组合与走刀方式

粗铣工艺优化目标:提高加工效率;降低加工成本;留量均匀,便于半精加工和精加工。下面对粗铣加工刀具组合和走刀方式进行分析。

#### 4.1 粗铣加工刀具组合

粗加工是体积加工。粗铣采用分层铣削,见图 3。采用大直径刀具,可以提高体积切除率,但留给小直径刀具的加工体积大,总的加工时间反而会长。为提高加工效率,应优化刀具组合。在这里我们通过几何分析,提出了一种简单的组合方法。

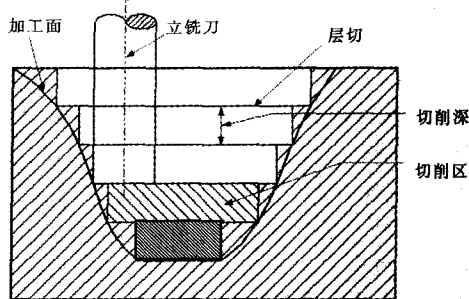


图 3 粗铣一分层铣削

以 WALTERY 刀具为例,其硬质合金刀具符合 1.25 尺寸系列(mm),排列如下:

(63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3.5, 3, 2.5, 2)

按此系列组合用刀,以图 4 为例,假设上一把用刀直径为 63,那么剩余体积的最大型腔宽度为 63。以直径 50 的刀铣型腔时,最高切除率的刀具铣削宽度为:  $a_c=0.26d$ ;铣平面时为:  $a_c=0.65d$ 。显然,铣型腔时刀具切削宽度太小。

假设保证铣型腔时的铣削宽度约为:  $a_c=0.75d$ ,刀具组合系列可为:

(63, 40, 25, 16, 10, 6, 4, 3, 2)

以图 5 为例,假设保证铣型腔拐角时的铣削宽度约为:  $a_c=0.3d$ ,刀具组合系列可为:

(63, 25, 10, 6)

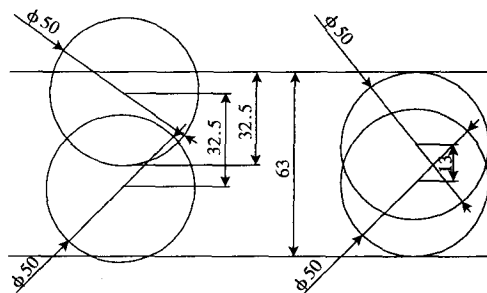


图 4 铣型腔时的刀具铣削宽度

#### 4.2 粗加工的走刀方式

粗加工的主要目的是快速、高效地去处余料,对刀位轨迹的具体要求就是跨距、切深较大,进退刀少,顺铣、逆

表 2 型腔加工特征——刀具——铣削方式

加工特征					加工操作		
特征分类	标识	几何轮廓			刀具		铣削方式 (UG)
		宽度	连续性		d/r	类型	
孔	铣削孔	O	—	封闭	d< 孔径	EM/RM	Cavity milling Planar milling
腔	狭槽	U	固定		d<= 槽宽	EM	
	腔	P	—		r<= 拐角圆半径 d< 最小宽度	EM/RM/BM	
开口腔	沟槽	G	固定	部分 敞开	d<= 槽宽	EM	
	开口腔	C	—		d<= 型腔宽度	EM/RM/BM	
	阶梯台	T	—		—	EM	
	斜坡	L	—		—	RM/BM	
面	水平面	F	—	全部 敞开	—	EM/RM	Face milling
	斜面	陡立	LV		—	RM/BM	Z-Level Profile
		浅平	LF		—	EM/RM	Contour
	立面	—	V		—	EM/RM	Z-Level Profile Planar milling
		陡立	SV		—	RM/BM	Z-Level Contour
	自由 曲面	—	SF		—	BM	Contour
		—	—		—	—	—
	拐角	VR	—		—	BM	Z-Level Corner Rough Flow cut
	底角	FR	—		—	BM	Flow cut
凸台	凸台	B	—	—	—	—	—

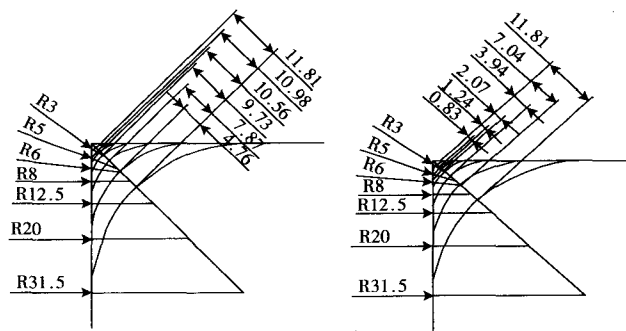


图 5 铣型腔拐角时的刀具铣削宽度

铣混合使用。UG 中的型腔铣 (Cavity milling) 适合对模具型腔零件做粗加工。

对于腔槽粗加工来说,加工方式是影响加工时间的主要因素之一。为了缩短粗加工时间,选择合适的走刀方式来铣削某一特定加工区域是相当重要的。选择走刀方式时要考虑两点:一是加工时间的长短,二是加工余量是否均匀。一般来说,选用螺旋走刀方式在平面域的加工余量较均匀,基于工件形状的走刀方式最佳。而选用平行走刀方式的加工余量较不均匀,若忽略余量不均匀性要求,Zig-Zag 走刀的刀轨长度通常是比较短的。

针对图 6 所示样件,利用 UG NX 多种走刀方式进行实验,结果见表 3。从中可以得出以下几点结论:

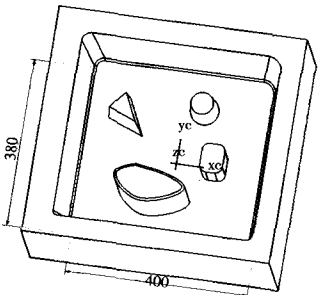


图 6 样件

表 3 走刀方式与刀轨长度

加工型腔:400*380*160,α=0.5d, ap=1mm, 刀具:T63R6			
走刀方式	切削时间	切削长度(mm)	快进长度(mm)
Follow part	8 h 16 min 38s	744951.775	13784.6271
Follow periphery 加环切	8 h 37 min 6s	775662.577	15613.726
Zig-Zag	7 h 45 min 16s	697916.309	249617.863
Zig-Zag 加环切	11h 52 min 45s	1069138.032838	279144.113411

(1)平行走刀方式在区域边界留下的余量往往是不均匀的,希望加工后留下较均匀的余量,通常需要增加围绕边界的环切刀轨。若忽略余量不均匀性,Zig-Zag 走刀方式下获得的刀轨是最短的;若考虑余量的不均匀性而增加环切刀轨,则刀轨一般会比 Follow part 刀轨长。

(2)采用平行走刀方式时,当加工区域所有边界长度较大(多岛屿情况),则围绕边界的环切刀轨对总的加工时间影响比较明显。如果要考虑加工余量的均匀性,加工多岛屿区域时建议采用螺旋走刀方式。

(3)采用螺旋走刀方式时,一般来说,Follow periphery 方式的刀轨最短,Follow part 方式的刀轨较长,当加工区域有岛屿时,Follow periphery 方式有可能在岛屿边界留下较多余量,通常采用 Follow part 加环切方式。

(4)对于外边界较规则的多岛屿区域,如果岛屿比较集中,建议对加工区域进行分解,取多岛屿的外边界包络作为单岛屿。这样在外边界到多岛屿包络之间的区域采用 Zig-Zag 方式,在多岛屿包络以内的区域采用 Follow part 方式,组合后得到的加工时间较短。

5 结语

本文主要进行了模具型腔数控铣削粗加工工艺优化研究,介绍了数控铣削刀具与切削用量,对模具型腔加工特征进行详细分析,在特征分解的基础上,基于 UGNX 软件确定了对应于各种特征的加工方法和刀具。借鉴已有研究,提出了模具型腔粗加工刀具组合方法,并进行走刀方式分析比较。

参考文献

[1] 徐衡.数控铣工实用技术.沈阳:辽宁科学技术出版社.2003

- [2] 范钦武. 模具数控加工技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2004
- [3] 王玉, 高崇辉, 徐和国. 模具型腔数控加工计算机辅助刀具选择研究. 计算机集成制造技术. 2004(2): 226-229
- [4] 付杰. UGNX 数控加工案例精选. 北京: 人民邮电出版社. 2005
- [5] 秦国平, 林朝平. 基于数控编程的模具加工工艺分析. 机械制造与自动化. 2003(4): 36-37

### Mold Cavity Analysis of NC Rough Milling Process

LU Hongrong, PANG Jiwei

(Jinan Railway Technical Vocational Institute, Jinan 250013)

**Abstract:** A mold cavity CNC milling process analysis and research is conducted. The NC milling tool and cutting parameters are introduced. A detailed analysis to machining features on the mold cavity to conduct is given, based on UGNX software to determine the corresponding features in a variety of processing methods and tools. Simple combination of methods is conducted to made rough milling cutter mold cavity, and we also give analysis and comparison to the ways of taking the knife.

**Key words:** CNC Milling, cavity, machining feature

(上接第 2 页)建模过程中都在逐步完善,许多建模方法已经在机器人点到点的避障路径规划中得到了广泛应用,取得了较好的实用效果。但总体来讲,环境地图的建模还不能充分满足具体应用的需要,尤其是在复杂环境中,工作效率会显著下降。急需进一步研究。目前,建模方法主要集中于点到点的蔽障规划方面,而针对遍历规划的研究相对较少,建模方法也有限,难以满足遍历规划的应用需求,亟需深入研究。

### 参考文献

- [1] 徐秀娜,赖汝. 移动机器人路径规划技术的现状与发展[J]. 计算机仿真, 2006(23): 1-4.
- [2] 纪晴,段培元,李连防,王海鹏. 移动机器人全覆盖路径规划算法综述[J]. 山东建筑大学学报, 2007, 22(4): 355-358.
- [3] 图论及其应用. 中华人民共和国建设部. GB5009-2001, 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 建筑工业出版社, 2002.
- [4] 李开生, 张慧慧, 费仁元, 宗光华. 具有遍历特性的移动机器人规划方法的研究[J]. 机器人, 2001(23): 486-492.
- [5] 成伟明, 唐振民, 赵春霞, 刘华军. 移动机器人路径规划中的图方法应用综述[J]. 工程图学学报, 2008(4): 6-14.
- [6] Kambhampati S K, Davis L S. Multi-resolution path planning for mobile robots [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1986, (RA-2,3): 135-145.
- [7] Oommen B, Iyengar S, Rao N, et al. Robot navigation in unknown terrains using learned visibility graphs, part I: the disjoint convex obstacle case [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3(6): 672-681.
- [8] Zheng H, Peng C. Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access[J]. IEEE ICC 2005, 2005(5): 3132-3136.
- [9] Choset H, Burdick J. Sensor based planning. I. The generalized Voronoi graph[C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation, Volume: 2, 1995: 1643-1648.
- [10] Choset H, Burdick J. Sensor based planning. II. incremental construction of the generalized Voronoi graph [C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation, Volume:

2, 1995: 1649-1655.

- [11] Canny J F. A Voronoi method for the piano movers problem[C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985: 530-535.
- [12] Liu Y H, Arimoto S. Computation of the tangent graph of polygonal obstacles by moving-line processing [J]. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1994, 10(6): 823-830.
- [13] 魏宁, 刘一松. 基于栅格模型的移动机器人全局路径规划研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(4-2).
- [14] Parsons D, Canny J F. A motion planner for multiple mobile robots [C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1990: 8-13.
- [15] Latombe J C. Robot motion planning[M]. 1991: 1-200.
- [16] 彭胜军, 马宏绪. 移动机器人导航空间表示及 SLAM 问题研究[J]. 计算机仿真, 2006, 23(8): 1-3.
- [17] 孙铁波. 单体移动机器人环境建模方法研究[J]. 科技信息, 2008(28): 222.
- [18] 李瑞峰, 赵立军, 靳新辉. 基于粒子滤波器的室内移动机器人自定位 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2008, 36 (Sup.1): 145-148.

### A Survey of Environment Modeling in Mobile Robot Path Planning

SHI Pifang, ZHAO Yongrui

(Institute of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266555)

**Abstract:** Nowadays, many countries are focusing on the research of various kinds of mobile robots because of their rich value on scientific research and wide foreground in market. The path planning technology is one of the key technologies used in mobile robot design. In this paper, the main achievements on the modeling research are summarized and classified, some analysis and comparison is show between them. The advantages and disadvantages of various methods are discussed; the further research directions are pointed out.

**Key words:** mobile robots, path planning, environment modeling, map