

型腔类零件数控铣削编程与仿真加工

樊瑞金 朱宏

河北科技学院 河北保定 071000

【摘要】由于具有精度高、效率高、自动控制等特点，目前已被大量采用。本文以一道典型的数控铣削模拟题为研究对象，在对具体的模腔结构进行详细剖析的基础上，制定出了与之相适应的加工工艺。基于上述分析，本文提出了合理的装夹夹具、编程零点及刀具对刀方法，并对模具的成形方式进行了较为深入的研究。采用手工编制 NC 程序，生成工具和工件的工艺参量，实现模拟加工，准确测定切削效果，检验编程方法的有效性。本文对模具加工中的刀具路径选择和 NC 程序设计具有一定的指导意义。

【关键词】数控铣床；工艺编制；编程；走刀路线

引言

在当今的制造业中，模态件是一个非常重要的环节，其结构设计复杂，加工精度高。其制造的准确性与品质，将对成品使用效能及可靠性产生重要影响。其中，以高效、精密为特点的 CNC 工艺在模制件生产中具有举足轻重的地位。为了保证模腔零件的高精密切削，数控程序编制是一个重要环节。程序设计中采取的方式与策略，对整体工艺的有效性及其成品的品质有很大的关系。伴随着程序设计的持续发展与革新，市场上出现了大量的程序设计软件与工具，它们越来越强大，大大提升了程序设计的工作效率与方便性。文中以一台具有代表性的圆盘状零件为例，对其工艺原理、编程策略和全流程进行了详细的论述。

在数控加工中，最重要的是程序编制，包括准确地确定加工路径，速度，进给速度等相关参数。一个程序员要想编制出一个高效率、高精度的程序，就必须有较强的理论功底和较强的动手能力。在 CAD (Computer Aided Design, CAD) 与 CAM (Computer Aided Manufacturing, CAM) 等领域的不断发展，使得程序的编制越来越直接、有效。有了这些先进的软件，程序员就能更快的完成仿真与确认，降低了出错的几率，提升了工作效率。

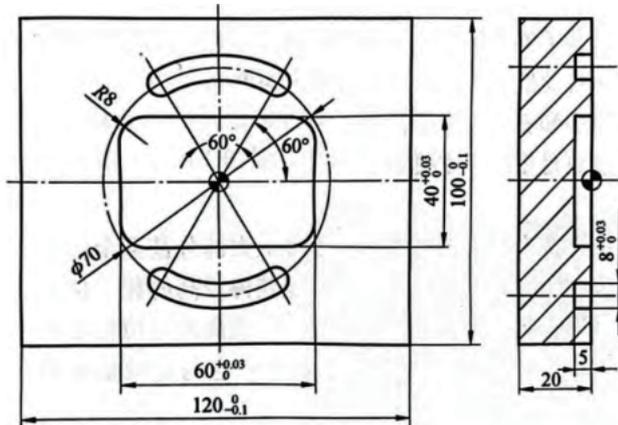


图1 型腔类零件

文章以一种典型的圆盘状零件为例，对其在凹槽件上的使用进行了详尽的阐述。首先，将对产品的结构特点、制造难度进行分析，并对其进行详细的分析，如刀具的选用、切削用量的确定、切削路线的最优等。另外，本项目还将探索模拟制造技术在制造过程中的作用，以便提前检测出制造过程中可能出现的问题，从而减少人力、物力的浪费。在此基础上，提出一种基于计算机辅助设计的加工工艺方案，使用户能够更好地理解机床加工工艺的各个阶段，进而掌握加工工艺的基本原则与方法。（见图1）

1 零件的数控加工工艺编制

1.1 型腔铣削工艺

在数控铣床和加工中心中，通常采用的是对内部构件进行铣削加工，其加工工艺是将工件从边缘限定的闭合范围中移除。该部分包括侧面和底部，这些部分可以是倾斜的，凸起的，球形的，等等。根据特殊的工艺需要及设计需要，模腔可以是空心的，也可以是空心的。在对凹腔进行铣削时，其主要工艺指标有：边墙、底边的形状、表面的粗糙度、二次曲面的形状精度等。由于其对模具的使用性能及外形有很大的影响，因此，如何确保模具的成型品质是非常关键的。

如果是浅孔，可用键槽铣刀作插入式切削，直到到达要求的深度为止。在铣削时，先对凹腔中部进行铣削，再采用圆周的径向补偿方法，保证了凹腔的几何形状和表面质量。但是，在深腔加工中，一般要求沿深槽进行分层切割。一种常见的做法是在钻孔前钻孔，再用一台较细的平铣工具从 Z 方向切削到规定的深度。在此基础上，再对其进行侧铣削，将其逐渐扩展至所要求的大小及外形，以保证整体模腔的高精度与高品质。在加工过程中，要对刀的进给速率及进给量进行准确的掌握，才能有效地防止对被加工对象造成伤害。另外，为了确保切削的品质，提高切削工具的耐用度，选用适当的冷却剂是十分必要的。

1.2 加工图样分析

从图1可以看出，其上表面中部为矩形空腔，两侧为长圆孔。尤其是矩形模膛四角均进行8 mm的倒圆加工，既美观又有效降低了模具内的应力集中。对于这两个狭长的环形沟槽，其宽度被准确地确定为8 mm，而且这两个沟槽都是关于工件的中央而成的。更特别的是，两条沟槽的中线均在70 mm的周长内，以保证产品的对称与平衡。

1.3 毛坯与定位基准的选择

从所给的坯料的规格资料中可知，它的确切大小是长120 mm，宽100 mm，厚20 mm。在左侧视图的截面图中，工件的厚度清楚地标明为20 mm，说明该工件的表面进行了抛光，所以在随后的工序中无需铣削工件的顶面和侧面。因为被测件的高度是20 mm，这是一个比较小的尺度，因此，在进行加工时，要在被测件的下表面和平口老虎钳之间设置若干具有更高精度的平行衬垫（要根据垫板的厚度、宽度来确定），从而保证加工的准确性和安全。用此方法，可以保证平口虎钳的顶面凸起7-10 mm，从而避免在切削时出现工具和工件之间的撞击。当间隔器安装好以后，待测物体的顶面要比平板老虎钳的顶面高出10 mm左右，从而能很好的防止在加工中碰到刀的问题，保证了工艺的安全性和平稳。

1.4 铣削加工工艺分析

根据零件图纸分析可以看出，零件需要进行中间的长方形形腔的铣削以及两个圆周槽的铣削加工。数控加工工序编排及切削参数表如表1所示。

表1 零件数控加工工艺规程

序号	加工内容	选择刀具	主轴 转速	进给 速度	补偿
1	粗加工长方形型腔	T01 \varnothing 14mm 键铣刀	500	100	
2	精加工长方形型腔	T01 \varnothing 14mm 键铣刀	800	80	D01
3	加工上圆周槽	T02 \varnothing 6mm 键铣刀	500	100	H02、D02
4	加工下圆周槽	T02 \varnothing 6mm 键铣刀	500	100	H02、D02
5	检测		合格,卸下工件		

1.5 法向编写加工程序

型腔加工的走刀路线可以从切向切入、切出工件外，还可以从法向进入工件。从法向进入工件，相较于切向进入工件的计算量较少，走刀路线及仿真结果如图2、图3所示。

1.6 切向编写加工程序

从以上的研究结果可以看出，在法对切削加工过程中，极易在加工过程中形成刃痕或界痕，从而导致零件的加工品质较差。为此，提出了从切线方向切出工件的方法。在模腔的铣削过程中，采用了行切式和环形两种方式，这两种方式均可将内腔中的所有区域都切割干净，既无盲区也无损伤外形，还可降低多次送料的搭接数量。走刀路径可划分为行切和环形两种，本文选择了综合方法，也就是在模腔的内侧采用行切去除多余的部分，采用环形切割的方法，这样可以缩短整体进给路径，并且可以得到良好的加工表面。

1.6.1 长方形型腔铣削编程

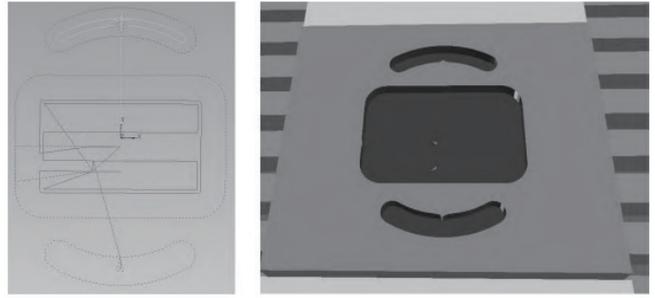


图2 走刀路线

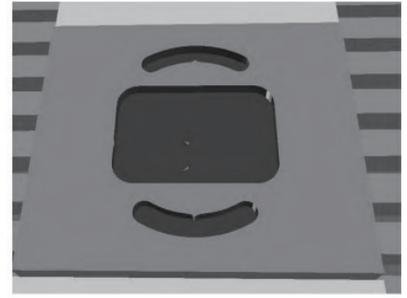


图3 仿真结果



在数控铣削中，刀具路径的选取直接关系到工件的加工精度和工件的表面质量。所以，如何选择合适的送料方位，是保证零件高精度、高品质的一项关键技术手段。铣削过程中，刀具的进给方向可划分为顺、逆两种。顺铣的方法虽然可以很好地确保被测零件的表面质量，但是在实践中却存在着一定的难度，且不易进行铣削。与之相比，反向铣削的工件表面质量差一些，但是它的工艺比较简单，而且也比较方便。对于这个例子，因为它的腔体深只有5毫米，而它的材质是铝-镁合金，所以我们采用了顺铣的方法。从图4可以看出，当铣刀由点2移至点3的期间，该工件相对于该工具向左侧运动，该铣削工具沿其顺时针旋转，该铣削路径与该工件的运动方向相同，这是顺铣加工的一个典型特点。在确定加工对象的程序座标时，X和Y轴均以被加工对象的对称中心为起点，Z轴的起始坐标被设置在加工对象的顶面上。在矩形腔体的加工中，第一步是对凹腔的去除进行粗加工。为确保在切削时能达到顺铣的目的，选用14 mm的键槽铣刀，并采用如5所示的刀具路径进行切削。该机床在切削时，采用了向前旋转的方式，保证了机床整体的顺铣削状态，保证了工件的整体表面质量。

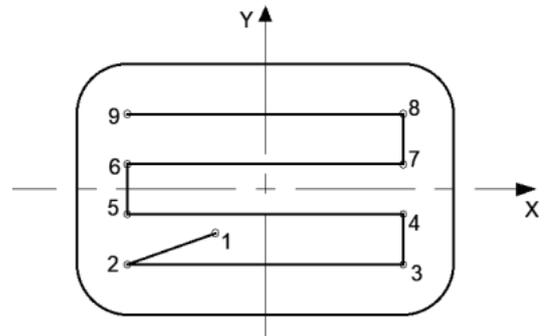


图4 去余量走刀路线图

以矩形型腔为例, 选用14 mm键槽铣刀, 并在对刀具半径进行补偿的基础上, 以14 mm为基准, 在D01中进行了半径补偿。在铣削内部型面时, 先在刀具进入工件前进行刀位修正, 然后再将其进行车削。

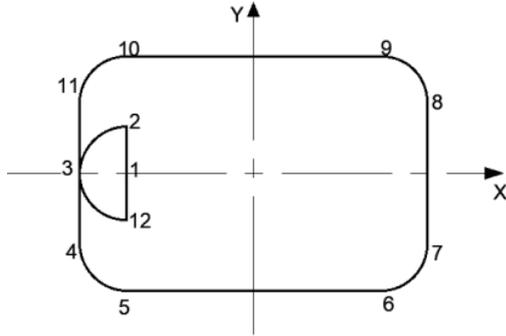


图5 型腔轮廓走刀路线

从图5可以看出, 各点的座标分别为: 1 (-22、0)、点2 (-22、8)、点3 (-30、0)、点4 (-30、-12)、点5 (-22、-20)、点6 (22、-20)、点7 (30、-12)、点8 (30、12)、点9 (22、20)、点11 (-30、12)、点12 (-22、-8)。模拟程序为: 依旧选择1工具, G54坐标系, 1工具的工具直径为14 mm, 1工具的工具直径为14 mm, 1工具为1, 2为1, 1为2, 建立为1, 为12为1, 为1为1, 为为0。零部件模拟的结果显示在图6中。

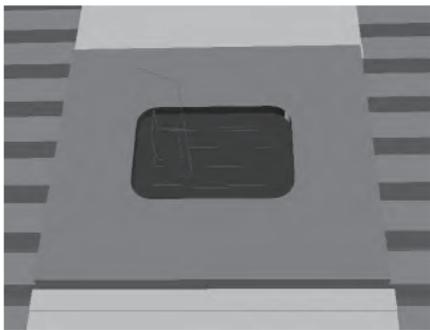


图6 长方形型腔精加工

1.6.2 圆周槽铣削编程

对于两个周向沟槽, 选择了2个工具T02, T02是? 在G54坐标系统中, 6毫米键槽铣刀2-1与1-2的刀长不一致, 所以对其进行了刀径和刀长的补偿。再一次, 当工具插入到加工对象中, 而当工具被插入到加工对象中时, 则将其删除。在图7中给出了刀位轨迹, 并给出了工件模拟的结果, 图8。

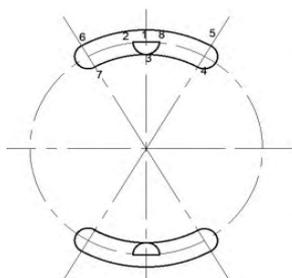


图7 走到路线图

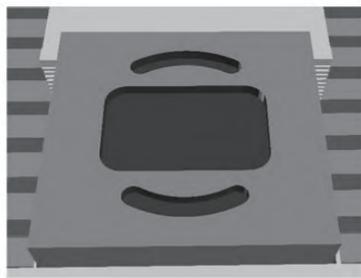


图8 仿真加工结果图

上述长方形型腔和圆周槽型腔的加工程序如表2所示

表2 圆周槽加工程序

型腔粗加工	型腔精加工	上圆周槽加工	下圆周槽加工
O0012;	X - 22 Y0;	T02 M06	G00 X0 Y - 35
:21 G17 G40 G94 G49 G80;	M03 S800;	G90 G54 G21	G01 Z - 5
G90 G54 G00 X - 8 Y - 7;	G01 Z - 5 F80;	G00 X0 Y35	G41 G01 X4 Y - 35 D02
M03 S500;	G41 X - 22 Y8 D01;	M03 S500	G03 X4 Y - 31 R4
Z10;	G03 X - 30 Y0 R8;	G01 Z - 5 F100	G02 X - 15.5 Y - 26.847 R31
G01 Z - 5 F100;	G01 X - 30 Y - 12;	G41 X - 4 Y35 D02	G03 X - 19.5 Y - 33.775 R39
X - 22 Y - 12;	G03 X - 22 Y - 20 R8;	G03 X0 Y31 R4	G03 X19.5 Y - 33.775 R39
X22;	G01 X22 Y - 20;	G02 X15.5 Y26.847 R31	G03 X15.5 Y - 26.847 R4
Y - 4;	G03 X30 Y - 12 R8;	G03 X19.5 Y33.775 R4	G02 X0 Y - 31 R31
X - 22;	G01 X30 Y12;	G03 X - 19.5 Y33.775 R39	G03 X - 4 Y - 35 R4
Y4;	G03 X22 Y20 R8;	G03 X - 15.5 Y26.847 R4	G40 G01 X0 Y - 35
X22;	G01 X - 22 Y20;	G02 X0 Y31 R31	G49 G01 Z10
Y12;	G03 X - 30 Y12 R8;	G03 X4 Y35 R4	G28 Z10
X - 22;	G01 X - 30 Y0;	G40 G01 X0 Y35	M30
G00 Z10;	G03 X - 22 Y - 8 R8;	G49 G01 Z10	
	G40 G01 X - 12 Y0;		
	G00 Z10;		

1.7 检测结果

利用模拟软件中的工件测定中的间距测定法, 测定处理的结果显示在图9中, 矩形空腔具有60毫米的长度, 40毫米的宽度, 以及两个周向凹槽的宽度是8.008毫米, 符合0-1合的尺寸要求。

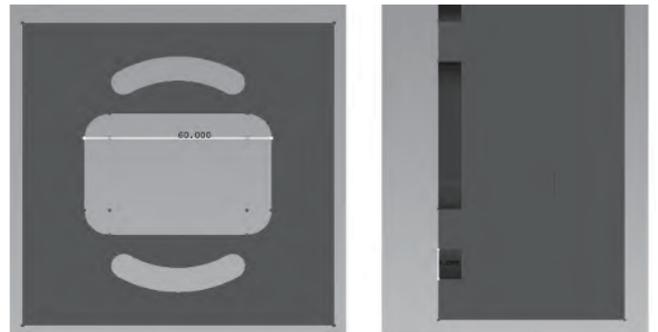


图9 测量结果

2 总结

(1) 数控铣削型腔轮廓时, 要切向进入、进出工件, 且在编程时要考虑刀具的半径补偿, 减少编程的工作量。

(2) 铣削型腔内时, 内部去余量使用大直径铣刀采用行切法, 内轮廓采用环切法铣削, 既提高了加工效率, 也保证内轮廓的表面质量和尺寸要求。

(3) 刀路编排时尽量减少刀具数量及换刀次数, 根据零件尺寸调节刀具参数, 使用一把刀具完成多种刀路加工。

参考文献:

[1] 杨旭, 杨丽, 陈志欣. 基于Mastercam X圆弧薄壁型腔零件铣削工艺分析及加工[J]. 有色设备, 2023, 37(2): 33-37.

[2] 张舜尧. 基于可调刀轴矢量的四轴联动铣加工刀具轨迹规划方法研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2023.

[3] 李丽萍. 基于虚拟仿真技术的数控铣削加工研究[J]. 机械工程与自动化, 2023(3): 120-123.

作者简介: 樊瑞金 (2004-), 性别: 男, 民族: 汉族, 籍贯: 河北省石家庄市灵寿县陈庄镇龙门沟村77号;

第二作者: 朱宏 (1987-), 性别: 男, 民族: 汉族, 籍贯: 河北省唐山市迁西县新集镇新集村0586号, 学历: 本科, 职称: 高级工程师, 机械设计。