

薄壁船模零件的数控加工

东莞市技师学院 肖玉星 何蓓蓓

船模零件特征较多，且属薄壁零件，形状比较复杂。本文根据某船模零件二维图纸，利用 MasterCAM 建立三维实体模型和加工刀路，然后用数控设备（加工中心）加工出零件产品，并针对其定位、夹紧和加工变形等加工过程中遇到的问题，制定了较合理的解决方案。结果表明，所采用的数控加工工艺方案能够在保证产品质量的前提下高效地实现船模零件的加工。

一、引言

近年来，随着数控技术的飞速发展，数控机床所加工零件的复杂程度也在不断增加，对加工工艺的编制也提出了更高的要求。特别是铝合金零件，大多形状较复杂，特征多，且壁薄，通常是在一整块材料上加工出零件形状。如何保证薄壁零件加工后不变形、精度符合图纸要求就成为加工者面临的一道难题。船模零件，如图 1 所示，即是此类零件之一。该零件周边壁厚只有 1 毫米，中间的那块板厚也仅仅 1.2 毫米，装夹不当或切削力过大都会引起零件变形。本文介绍该零件的加工过程，以及防止薄壁变形所采取的措施。

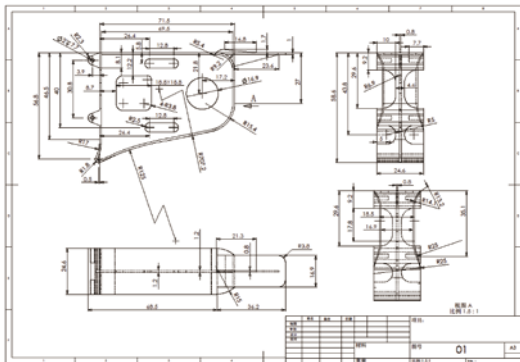


图 1 薄壁船模零件二维图

二、三维实体模型的建立

薄壁船模零件的二维图如图 1 所示，其技术要求为：（1）所有表面粗糙度要求 Ra3.2。（2）未标注公差尺寸按 GB/T1804-m。

通过对二维图的分析，采用 MasterCAM9.1 对其进行三维建模，得到的结果如图 2 所示。

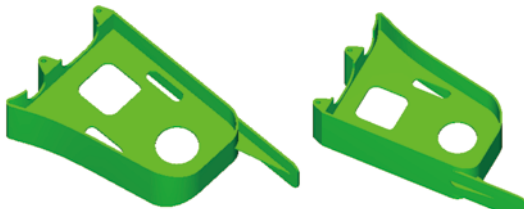


图 2 薄壁船模零件三维图

三、工件外形结构与材料特性

1. 工件外形结构特点

如图 2 所示，此工件是一个比较典型的结构零件，由于船模在设计过程中需要对完成初级设计阶段的零件进行多项测试，以便于获得修改参数，调整设计方案，所以必须将各个完成初步设计的零件加工出来，组装成型后进行测试，这样就对各部件的外形尺寸和相对位置尺寸要求较高。

由于此模型属于上下对称结构，上下两面都需要进行

加工，所以要求加工后零件的相对位置精度较高。保证二次装夹的相对位置精度是该零件加工的关键之一。

为减轻模型的整体重量，船模大多以薄壁结构为主，本零件各处壁厚只有 1mm，零件中的薄壁结构给加工过程中的装夹定位、防止变形带来了一定的困难。

2. 材料特性

本次加工所用材料为 LY12（2024），LY12 是国内的老牌号，对应的国内的新牌号为 2A12。

LY12 具有较高的强度和良好的切削加工性能，而且密度小，但硬度较低，容易粘刀和容易产生切削变形。

四、装夹定位方案的制定

该零件属于薄壁件，主体壁厚只有 1mm，加之使用材料为 LY12，材质较软，防止装夹变形、切削变形及应力变形是加工中要切实考虑的重点。

此零件是在半精铣尺寸为 160mm×80mm×24.6mm 的整块毛坯上挖出。为防止装夹变形，采用压板装夹。加工坐标系的建立如图 3 所示。使用三个压板压住毛坯，空出一个直角用作零件的编程原点和对刀点。

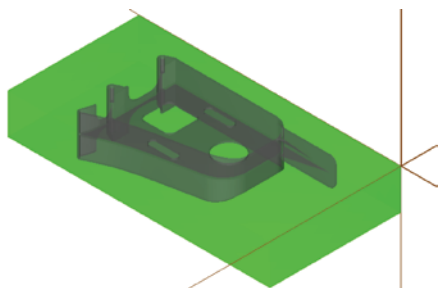


图 3 薄壁船模零件定位图

五、本次加工的刀具选择

由于铝合金材料硬度较低，导热性较差，切削温度不会太高，但同时由于材质较软，容易发生粘刀现象，影响零件表面质量，严重时可能使零件报废。因此加工中选用铝合金加工专用铣刀，使切削锋利，以减小切削力和切削变形。本次加工选用的刀具规格具体见后面的“薄壁船模零件加工工艺卡”。

另外，还需注意刀具的外形结构，特别是一些小直径的刀具如 4mm 键槽刀，其切削部分直径是 4mm，有效切削长度是 12mm，夹持部分直径是 6mm，在切削部分和夹持

部分中间是一段长约 9mm 的锥体过渡部分。

在加工时， $\phi 4$ 键槽刀要加工到最深为 13mm，使用直径 4mm 键槽刀进行加工时，就会产生干涉现象，刀具的过渡部分会碰撞到工件，因此必须把刀具的过渡部分进行手工刃磨，以使刀具的有效切削长度增长至大于 13mm，保证在加工时不会碰撞到工件。

六、切削参数的选择

根据零件材质、刀具材料，并结合数控铣床的实际情况（机床最高转速是 6000 RPM，切太快时机床容易震动）等，在以往实践经验的基础上，确定了适合此次加工的切削参数，具体见后面的“薄壁船模零件加工工艺卡”。

七、薄壁船模零件加工工艺分析与制定

本工件采用 MasterCAM9.1 软件来进行刀具路径的编制，MasterCAM9.1 软件提供了多种加工技术和加工功能，各种加工方式将直接影响工件加工的质量和效率，如果要达到加工技术要求，就需要在编制加工刀具路径时，针对不同的加工特点，选择合理的加工刀具路径。

使用 MasterCAM9.1 软件自动编程，加工刀具路径是否合理将直接影响工件的加工质量和效率。MasterCAM9.1 软件的加工刀具路径，一般的方法难以同时保证平面与斜面的加工质量。如何合理编制加工刀具路径才能达到加工要求是一个值得研究的问题。根据本人的工作实践，认为对于相同的加工工件，在不同的加工位置需要用不同的刀具路径去处理，这样一来，就能够在改善加工质量的同时提高加工效率。

1. 加工思路

加工整体思路是：先开粗加工、再半精加工、后精加工。具体分析如下。

（1）开粗加工：粗加工可迅速去除较多的材料，提高生产效率。

（2）半精加工：由于开粗加工刀具间距和切削深度较大，工件有一定的余量，半精加工就是去除过多的余量，使精加工时受力减小，提高工件的加工精度。刀具选择时应考虑粗加工所留下余量大小，使加工时不至于断刀，且不会留下过多的余量，以使精加工时刀具受力均匀。平面加工（二维加工）时，用平刀加工，而曲面半精加工用球刀比较好，故此曲面与平面分开做半精加工及精加工（平面可不必做半

精加工)。

(3) 精加工: 把工件各表面精加工到图纸要求的尺寸与表面精度, 同时要考虑加工效率, 选择刀具时要考虑到是否留有余量和过切现象发生。

2. 加工难点分析

基于以上工艺分析、曲面特点及技术要求, 本次加工难点有四个: 2D、曲面加工方法选择问题; 清角问题; 挖槽时容易断刀问题; 薄壁加工容易变形问题。

(1) 2D、曲面加工方法选择问题。

在 MasterCAM9.1 软件里, 2D 加工方法与三维曲面加工方法区别很大。2D 加工方法有外形铣削、钻孔、挖槽和平面铣削等几种, 功能比较简单, 只能加工比较简单的二维形状, 但优点是产生的刀路很简洁, 加工时间比较快捷。而三维曲面加工方法有很多, 还分为粗加工与精加工等各种不同的加工方法, 功能很强大, 可以加工复杂的曲面, 但对产生的刀路比较繁杂, 加工时间比较长。

此模型以 2D 结构为主, 优先选用 2D 加工方法加工, 如大、小型腔的加工就可以用 2D 加工方法完成。但有些地方如外轮廓的加工, 有的因为是曲面, 用 2D 加工方法加工不了, 必须用曲面加工方法来完成, 另外有的地方虽然也可以用 2D 加工方法来加工, 但比较繁杂或者加工出来效果不是很好, 这些地方也需要用曲面加工方法来完成。本工件加工方法的选择具体见后面“薄壁船模零件加工工艺卡”。

(2) 清角问题。

残料清角(曲面粗加工), 此加工方法会根据前面大刀具的直径计算出哪里有残料, 然后控制小直径刀具只加工有残料的地方。特别适用于用小直径刀具清除大直径刀具加工时不能切除到位置的残料。

对于本工件, 主要是要解决用 $\phi 4$ 的键槽刀来清除用 $\phi 10$ 的键槽刀粗加工时不能切除到位置的残料问题, 所以选用“残料清角(曲面粗加工)”非常实用, 可以控制 $\phi 4$ 的键槽刀只加工有残料的地方, 没有残料的地方会忽略不加工, 节省了大量时间, 提高了效率。

(3) 挖槽时容易断刀问题。

此次加工所用刀具为普通高速钢刀具, 有的地方需要 $\phi 4$ 键槽刀才能加工出来, 但如果直接采用 $\phi 4$ 键槽刀去加工的话, 很容易断刀, 而且花费时间很久。为了解决这个问题, 我采取先用 $\phi 10$ 键槽刀粗加工, 然后再用 $\phi 4$ 键槽刀精加工。

因为 $\phi 10$ 键槽刀不像 $\phi 4$ 键槽刀那么容易断, 而且吃刀量也要多许多, 一举解决了断刀与加工效率问题。

(4) 薄壁加工容易变形问题。

为了防止薄壁加工时变形, 我采取加工时靠近侧壁时切削速度不要太快, 另外每次切削量不要太多, 这样就使刀具切削时对侧壁的影响尽量减小。

另外, 还要合理选择下刀点, 尽量选择在工件外下刀, 这样一来安全, 二来也对刀具、工件的冲击力都小一点。

还要合理选择进、退刀, 尽量使刀具顺滑切入切出, 这样对刀具、工件的冲击力也都小一点。

3. 加工工艺卡的制定

基于以上分析, 比较几种加工方法, 提出以下加工方案, 如表所示。

八、MasterCAM9.1 建立刀路过程

1. 粗挖大型腔

加工方法: 挖槽(一般挖槽 2D)如图 4 所示。

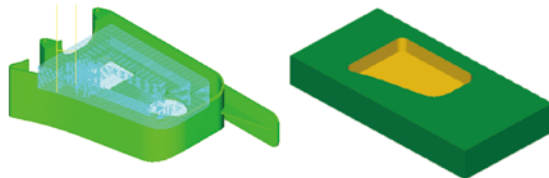


图 4 2D 挖槽

注意: ①设置“由内而外环切”。

②要设置“螺旋式下刀”。

2. 粗挖两内小型腔

加工方法: 挖槽(一般挖槽 2D)如图 5 所示。

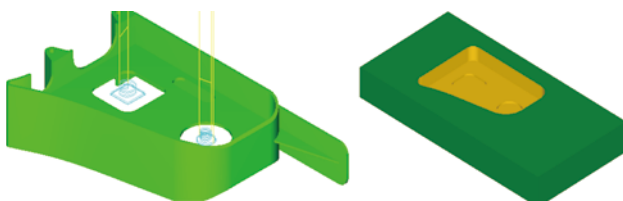


图 5 2D 挖槽

注意: ①设置“由内而外环切”。

②要设置“螺旋式下刀”。

3. 大型腔外形粗加工

加工方法: 外形铣削(2D), 如图 6 所示。

注意: 设置“圆弧进退刀”: 使刀具顺滑切入切出, 减少冲击力。

表 薄壁船模零件加工工艺卡

单 位				零件名称			零件图号	
XXXX				船模零件			01	
夹具名称		使用设备		材料			车间	
压板		YHM 600A		LY12 (2A12)			数控铣车间	
工 序 号	工序内容	加工方法		刀具规格 (mm)	主轴转速 S (r/min)	进给速度 F (mm/min)	背吃 刀量 (mm)	留下余量 (mm)
1	粗挖大型腔	挖槽 (一般挖槽 2D)		φ10 键槽刀	1200	700	0.8	0.2 (侧壁、底面都留)
2	粗挖两内小型腔	挖槽 (一般挖槽 2D)		φ10 键槽刀	1200	700	0.8	0.2 (只留侧壁)
3	大型腔外形粗加工	外形铣削 (2D)		φ4 键槽刀	3000	800	0.3	0.2 (侧壁、底面都留)
4	左边小型腔外形粗加工	外形铣削 (2D)		φ4 键槽刀	3000	800	0.3	0.2 (只留侧壁)
5	粗挖两内小小腔	挖槽 (一般挖槽 2D)		φ4 键槽刀	3000	800	0.1	0.2 (只留侧壁)
6	四个内小型腔外形精加工	外形铣削 (2D)		φ4 键槽刀	3500	800	0.3	0
7	大型腔外形精加工	外形铣削 (2D)		φ4 键槽刀	3500	800	0.3	0 (底面仍留 0.2)
8	精铣内大型腔底面	挖槽 (一般挖槽 2D)		φ6 键槽刀	2400	300	0.1	0
9	钻中心孔	普通钻孔		A3 中心钻	2000	100	4	/
10	钻孔	普通钻孔		φ2 麻花钻	2500	30	7.7	/
11	外轮廓粗加工	挖槽粗加工 (曲面粗加工)		φ10 键槽刀	1200	700	0.8	0.2 (侧壁、底面都留)
12	外轮廓二次粗加工	残料清角 (曲面粗加工)		φ4 键槽刀	3000	800	0.3	0.2 (侧壁、底面都留)
13	外轮廓精加工	等高外形 (曲面精加工)		φ4 键槽刀	3500	800	0.3	0
14	外轮廓补充精加工	曲面流线 (曲面精加工)		φ6 球刀	4000	1000	0.2	0
15	外轮廓平面补充精加工 1	浅平面加工 (曲面精加工)		φ4 键槽刀	3500	800	0.2	0
16	外轮廓平面补充精加工 2	挖槽 (一般挖槽 2D)		φ4 键槽刀	3500	800	0.1	0
编制		xxx	审核	xxx	批准	xxx	x 年 x 月 x 日	共 1 页 第 1 页

4. 左边小型腔外形粗加工

加工方法：外形铣削 (2D)。

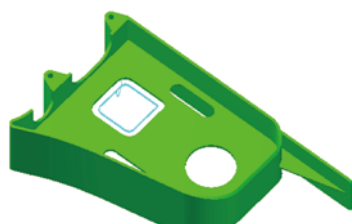


图 6 外形铣削 2D

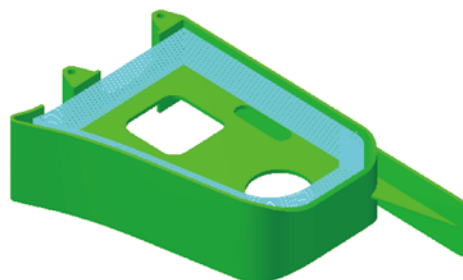


图 6 外形铣削 2D

注意：设置“圆弧进退刀”。

5. 粗挖两内小小型腔

加工方法：挖槽（一般挖槽 2D），如图 7 所示。

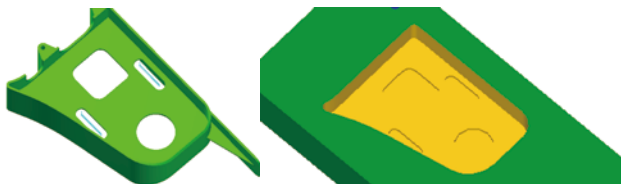


图 7 一般挖槽 2D

注意：①设置“由内而外环切”

②要设置“螺旋式下刀”

6. 四个内小型腔外形精加工

加工方法：外形铣削（2D）如图 8 所示

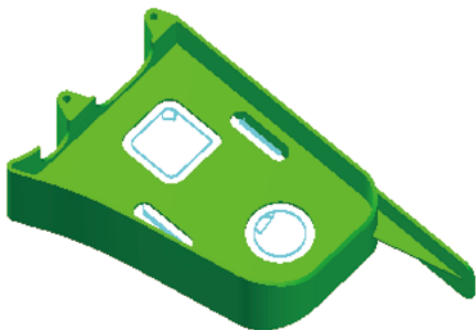


图 8 外形铣削 2D

注意：设置“圆弧进退刀”。

7. 大型腔外形精加工

加工方法：外形铣削（2D），如图 9 所示。

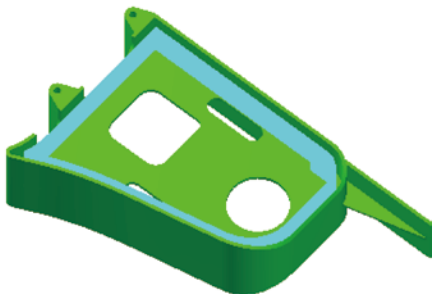


图 9 外形铣削 2D

注意：设置“圆弧进退刀”。

8. 精铣内大型腔底面

加工方法：挖槽（一般挖槽 2D），如图 10 所示。

注意：①设置“由内而外环切”。

②要设置“螺旋式下刀”。

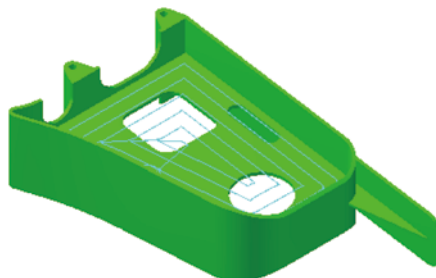


图 10 一般挖槽 2D

9. 钻中心孔

加工方法：普通钻孔，如图 11 所示。



图 11 一般挖槽 2D

10. 钻孔

加工方法：普通钻孔。

11. 外轮廓粗加工

加工方法：挖槽粗加工（曲面粗加工），如图 12 所示。

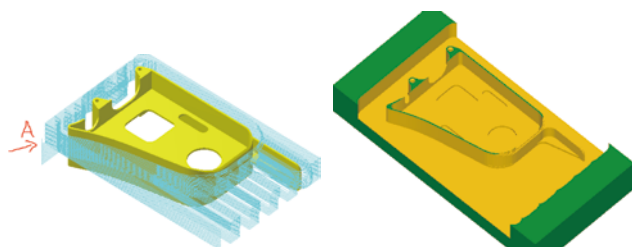


图 12 曲面挖槽 2D

注意：指定从下图 A 点位置下刀，还能使得顺滑切入。

12. 外轮廓二次粗加工

加工方法：残料清角（曲面粗加工），如图 13 所示。



图 13 残料清角

13. 外轮廓精加工

加工方法：等高外形（曲面精加工），如图 14 所示。



图 14 等高外形铣削

注：①设置“最优化切削路径”。

②设置“单向切削”。

14. 外轮廓补充精加工

加工方法：曲面流线（曲面精加工），如图 15 所示。



图 15 曲面流线

15. 外轮廓平面补充精加工 1

加工方法：浅平面加工（曲面精加工），如图 16 所示。



图 16 浅平面

注意：选择与之相连的侧壁为干涉面，防止过切。

16. 外轮廓平面补充精加工 2

加工方法：挖槽（一般挖槽 2D），如图 17 所示。

注：因为该部分是平面，为了不过切到侧壁，采用“一般挖槽 2D”来加工此平面，但因为此部分加工面积很小，为了能顺利加工到该部分，特意把加工范围扩大一些。



图 17 2D 挖槽

九、最终加工效果图

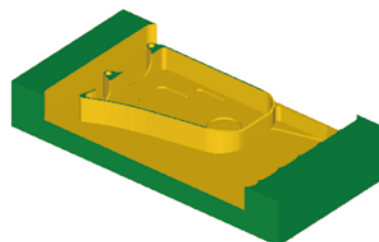


图 18 最终加工效果图

图 18 为最终加工效果图。由于此模型属于上下对称结构，上、下两面都需要进行加工，上述只是加工了上面，下面的加工和上面类似，就不重复叙述。但要注意，为了保证二次装夹的相对位置精度，对刀点要和上面加工时的对刀点一致，即取同一直角。

十、结语

综上所述，根据此次加工采用毛坯、刀具，并结合数控铣床的实际情况，在以往实践经验的基础上，确定了适合此次加工的切削参数。

另外根据船模零件的加工特点及加工难点，通过对 MasterCAM9.1 软件各加工方式与加工刀具路径进行详细比较与分析，提出了合理的加工方案。

使用上述的加工方案，顺利解决了加工中的难点问题，而且加工效率较高加工出的工件能达到各项技术要求。可见编制的加工刀具路径合理。IM