



项目 3

轮廓铣加工

学习目标

知识目标

1. 了解零件轮廓铣加工工序制订的思路。
2. 熟悉轮廓铣加工类型及操作方法、技巧。
3. 熟悉复杂零件曲面加工参数的设置。

技能目标

1. 掌握 UG NX 12.0 软件轮廓铣加工编程步骤。
2. 能根据零件的特点选用适合的轮廓铣工序和加工参数。
3. 掌握“1+X”证书（中级）训练题的编程技巧及流程。
4. 能独立对加工零件进行轮廓铣加工编程，且加工零件精度达到“1+X”证书（中级）的评分标准。

素质目标

1. 深刻理解精益求精精神在数控编程中的重要性。
2. 培养良好的编程思路，具备“1+X”证书（中级）所需的职业素养和规范意识。
3. 提升创新设计的意识和能力。

项目概述

中国国旗中的大五角星代表中国共产党，四颗小五角星代表工人、农民、小资产阶级和民族资产阶级四个阶级。旗面为红色，象征革命，星呈黄色，表示中华民族为黄色人种。五颗五角星互相联缀、疏密相间，象征中国人民大团结。下面我们以五角星零件的加工为例，详细介绍轮廓铣加工的方法。

轮廓铣加工模块包含了型腔铣、自适应铣削、插铣、剩余铣、深度轮廓铣、固定轮廓铣等工序，常用于三轴零件内外平面和曲面、内型腔的壁和底面等的加工，也可以用于四、五轴零件的部分加工，是加工带有简单曲面的零件的主要方法。

任务 3.1 轮廓铣类型及操作

在“应用模块”中单击  图标后，选择“mill_contour”工序选项，如图 3-1-1 所示。

当我们单击  图标后，系统会弹出如图 3-1-2 所示的“创建工序”对话框。它提供了所有轮廓铣加工工序的类型，下面对各个工序类型进行简单介绍。



图 3-1-1 CAM 模块选择



图 3-1-2 “创建工序”对话框

轮廓铣工序子类型如下。

-  (CAVITY_MILL): 型腔铣。
-  (ADAPTIVE_MILLING): 自适应铣削。
-  (PLUNGE_MILLING): 插铣。
-  (REST_MILLING): 剩余铣。
-  (ZLEVEL_PROFILE): 深度轮廓铣。
-  (FIXED_CONTOUR): 固定轮廓铣。
-  (FLOWCUT_SINGLE): 单刀路清根。
-  (SOLID_PROFILE_3D): 实体轮廓 3D。

3.1.1 型腔铣

型腔铣在数控加工应用上较为广泛，可用于大部分的粗加工，以及直壁型零件的精加工。型腔轮廓铣加工的特点是刀具路径在同一高度内完成一层切削，遇到曲面时将其绕过，下降一个高度进行下一层的切削。型腔铣在每一个切削层上，按照零件的截面形状来计算该层的刀路轨迹，根据切削层平面与毛坯和零件几何体的交线来定义切削范围。

下面以如图 3-1-3 所示零件的加工为例进行介绍。

加工步骤如下。



型腔铣

1. 粗加工

(1) 进入加工模块。

①打开如图 3-1-3 所示的“加工零件”建模文件。

②在“应用模块”功能选项卡中单击  (加工) 图标, 在弹出的“加工环境”对话框中的“要创建的 CAM 组装”模块选择“mill_contour”选项, 再单击“确定”按钮, 如图 3-1-4 所示。

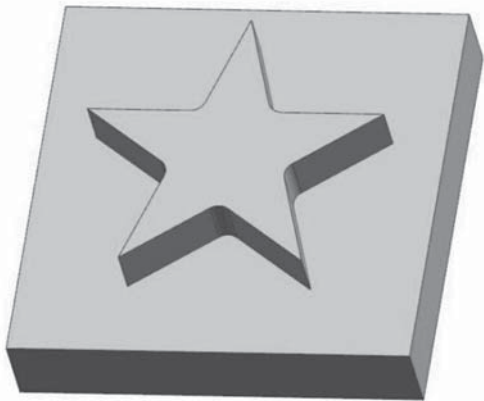


图 3-1-3 加工零件



图 3-1-4 CAM 模块选择

(2) 创建几何体模块。

①单击  (几何视图) 图标, 进入几何视图界面。双击  MCS_MILL 图标, 弹出“MCS 铣削”对话框。

②如图 3-1-5 所示“点”的坐标对话框, 在“Z”文本框中输入零件的高度 25, 单击“确定”按钮返回, 得到如图 3-1-6 所示的加工坐标系。

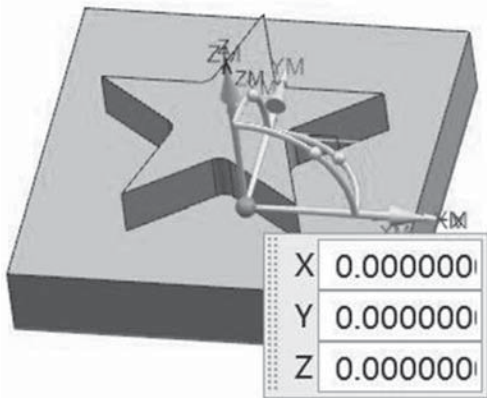


图 3-1-5 加工原点的设置

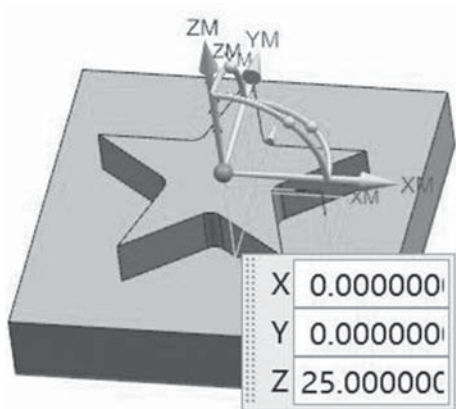


图 3-1-6 加工原点坐标系

在“MCS 铣削”对话框中的“安全设置”模块选择“平面”选项。单击  图标, 弹出“平面”对话框, 选择如图 3-1-7 所示的零件顶面, 在“距离”文本框中填入“5”。单击“确定”按钮完成安全平面的设置。

(3) 创建毛坯几何体。

①单击MCS MILL图标中的“+”，展开列表。双击WORKPIECE图标，弹出“工件”对话框。

②单击（指定部件）图标，弹出“部件几何体”对话框，选取加工零件作为加工最终部件，单击“确定”按钮返回“工件”对话框。

③单击（指定毛坯）图标，弹出“毛坯几何体”对话框，单击对话框右侧的图标，选择选项，单击“确定”按钮返回“工件”对话框。

④单击（显示）图标，观察设置的部件和毛坯是否符合要求，如图 3-1-8 所示。

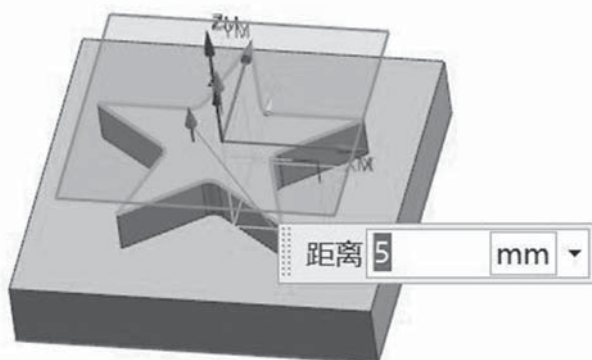


图 3-1-7 安全平面的设置

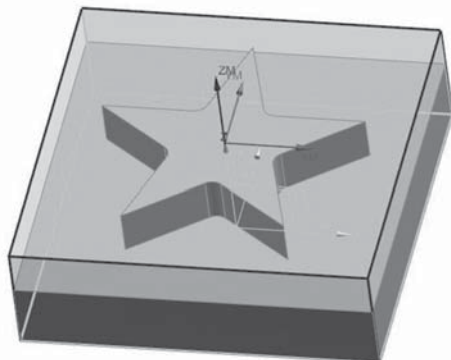


图 3-1-8 毛坯几何体

(4) 创建刀具。

①单击图标，进入“创建刀具”界面，选择刀具子类型中的平底刀，在“名称”文本框中输入平底刀的直径大小“D10”作为刀具名称，单击“确定”按钮进入刀具参数设置对话框。

②在“尺寸”区域中的“直径”文本框中填入“10.0000”，在“编号”区域中“刀具号”“补偿寄存器”“刀具补偿寄存器”三项文本框中填入“1”，如图 3-1-9 所示。单击“确定”按钮完成刀具建立。



图 3-1-9 刀具参数

(5) 创建型腔铣加工工序。

①单击图标，弹出“创建工序”对话框，在工序子类型中选择（型腔铣）工序。

②在“位置”区域中，“程序”下拉菜单选择“PROGRAM”选项，“刀具”下拉菜单为“D10 (铣刀-5 参数)”选项，“几何体”下拉菜单选择“WORKPIECE”选项，“方法”下拉菜单选择“MILL_ROUGH”选项，如图 3-1-10 所示。单击“确定”按钮进入“型腔铣”对话框，如图 3-1-11 所示。



图 3-1-10 工序选择



图 3-1-11 型腔铣参数设置

③在“刀轨设置”→“切削模式”下拉菜单中选取~~跟随周边~~ 切削模式选项。将切削步距的“平面直径百分比”中默认的“30.0000”改为“50.0000”，提高加工效率。将切削深度的“最大距离”由“2.0000”改为“1.0000”，如图 3-1-12 所示。单击“操作”区域中的~~预览~~图标，预览刀具路径参数的设置效果，如图 3-1-13 所示。



图 3-1-12 刀轨参数设置

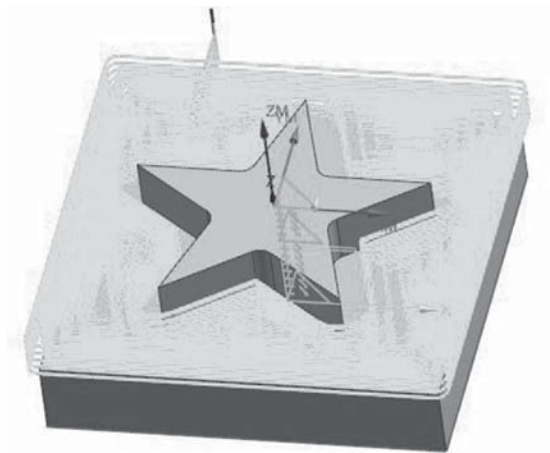


图 3-1-13 刀轨预览

④单击“刀轨设置”对话框中的（进给率和速度）图标，进入“进给率和速度”对话框，在“主轴速度”区域中，勾选图标，在文本框中填入2500，在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入2000，单击图标进行计算，单击“确定”按钮返回“型腔铣”界面。

⑤单击“操作”区域中的图标进行计算，再单击图标，进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行3D 仿真操作，把“动画速度”调整到2，便于观察。单击图标进行仿真，如图3-1-14所示。确认无误后，单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

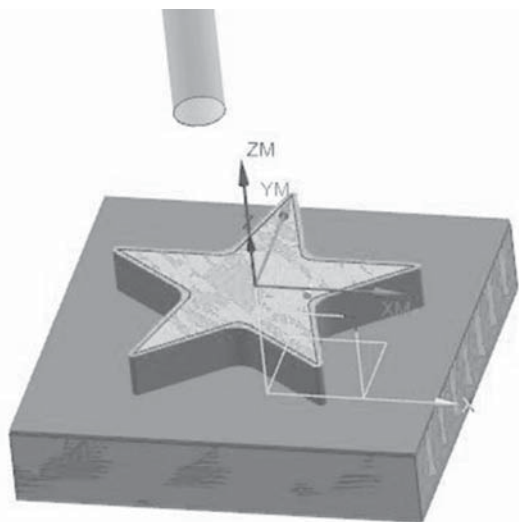


图3-1-14 加工仿真

2. 精加工

创建型腔铣加工工序。

①右击CAVITY_MILL图标，弹出“工具”菜单，选择“插入”选项卡中的“工序”选项，如图3-1-15所示。

②弹出“创建工序”对话框，如图3-1-16所示，在“位置”区域中，“方法”下拉菜单选择“MILL_FINISH”选项，单击“确定”按钮进入“型腔铣”界面。

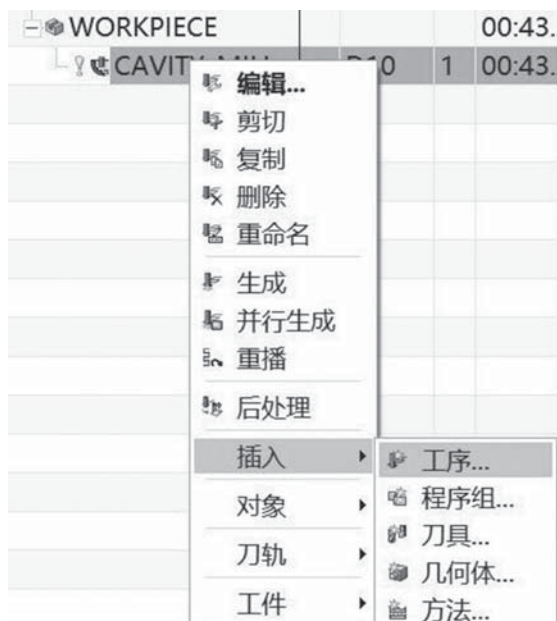


图3-1-15 插入工序



图3-1-16 “创建工序”对话框

③在“刀轨设置”→“切削模式”下拉菜单中选择跟随周边 切削模式选项。将切削步距的“平面直径百分比”由默认的“30.0000”改为“50.0000”，提高加工效率。将切削深度的“最大距离”由“2.0000”改为“10.0000”，如图3-1-17所示。单击“操作”区域

中的图标，预览刀具路径参数的设置效果，如图 3-1-18 所示。



图 3-1-17 刀轨参数设置

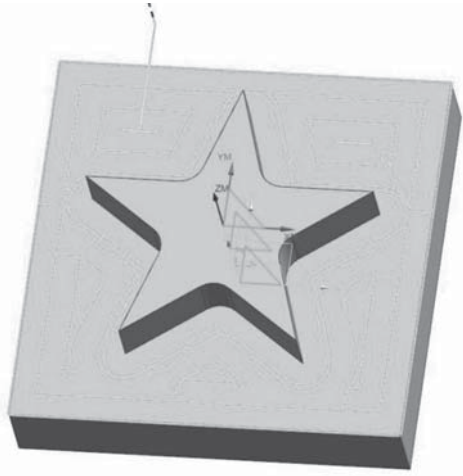


图 3-1-18 刀轨预览

④单击“刀轨设置”对话框中的（进给率和速度）图标，进入“进给率和速度”对话框，在“主轴速度”区域中，勾选图标，在文本框中填入 5000，在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 1000，单击图标进行计算，单击“确定”按钮返回“型腔铣”界面。

⑤单击“操作”区域中的图标进行计算，再单击图标，进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行 3D 仿真操作，把“动画速度”调整到 2，便于观察。单击图标进行仿真，如图 3-1-19 所示。确认无误后，单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

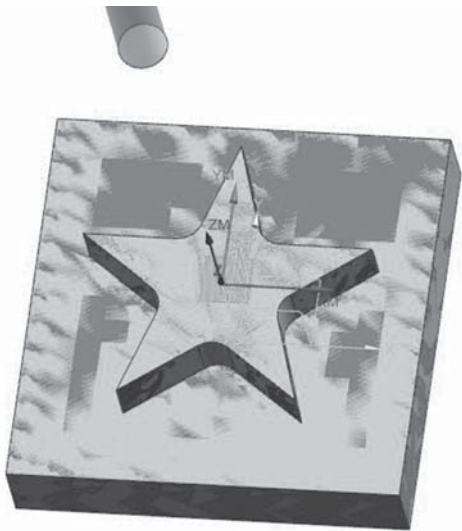


图 3-1-19 加工仿真

3.1.2 自适应铣削



自适应铣削

零件的粗加工一般采用型腔铣进行开粗，在 UG NX 12.0 版本中新增了加工方式——自适应铣削（ADAPTIVE_MILLING），以刀具的侧刀刃铣削侧壁为层，生成刀路进行加工，其加工特点是大切削深度、小步距进给。一般自适应铣削加工常用于铝合金、塑料、木头、铜合金等软质金属的开粗，去除余料效率相比型腔铣大大提高。

下面依然以如图 3-1-3 所示零件的加工为例进行介绍。

加工步骤如下。

步骤 1~4 与型腔铣中的 1. 粗加工的步骤（1）~（4）相同，下面从第 5 步创建自适应

铣削加工工序开始介绍。

(1) 单击  图标，弹出“创建工序”对话框，在工序子类型中选择  “自适应铣削”工序。

(2) 在“位置”区域中，“程序”下拉菜单选择“PROGRAM”选项，“刀具”下拉菜单选择“D10 (铣刀-5 参数)”选项，“几何体”下拉菜单选择“WORKPIECE”选项，“方法”下拉菜单选择“MILL_ROUGH”选项，如图 3-1-20 所示。单击“确定”按钮进入“自适应铣削”对话框，如图 3-1-21 所示。



图 3-1-20 工序选择



图 3-1-21 参数设置界面

(3) 在“刀轨设置”→“最大距离”文本框中把每刀切削最大深度从“95.0000% 刀具长度”改为“10.0000 mm”（五角星凸台的高度为 10 mm），如图 3-1-22 所示。单击“操作”区域中的  图标，预览刀具路径参数的设置效果，如图 3-1-23 所示。



图 3-1-22 刀轨参数设置

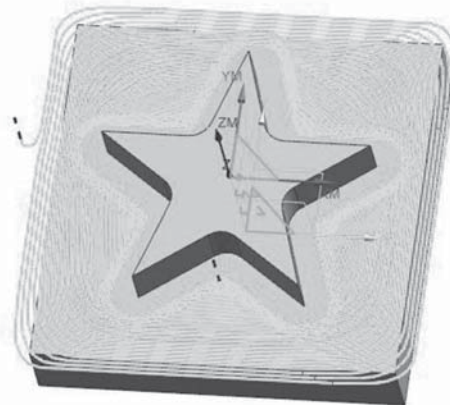


图 3-1-23 刀路预览

(4) 单击“刀轨设置”对话框中的 (进给率和速度) 图标, 进入“进给率和速度”对话框, 在“主轴速度”区域中, 勾选 图标, 在文本框中填入 4000, 在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 2000, 单击 图标进行计算, 单击“确定”按钮返回“自适应铣削”界面。

(5) 单击“操作”区域中的 图标进行计算, 再单击 图标, 进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行 3D 仿真操作, 把“动画速度”调整到 2, 便于观察。单击 图标进行仿真, 如图 3-1-24 所示。确认无误后, 单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

(6) 在进给率同为 2000 的情况下, 自适应铣削用时 4 分 1 秒, 而型腔铣用时 6 分 29 秒, 如图 3-1-25 所示。可见, 自适应铣削工序相对于型腔铣工序, 大大提升了零件的加工效率, 特别是在加工直壁类的零件的时候。

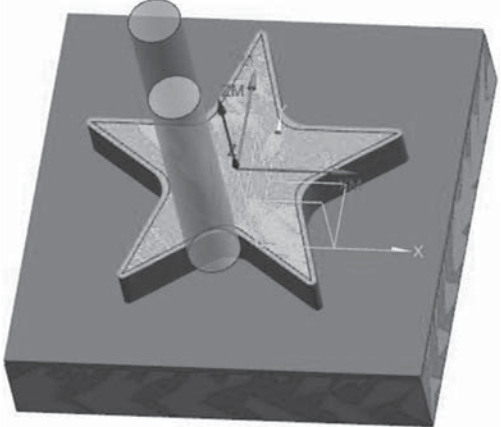


图 3-1-24 仿真加工

名称	换	刀	刀具	刀	时间
NC PROGRAM					00:12:13
 未用项					00:00:00
 PROGRA...					00:12:13
 ADAPT...			D10	1	00:04:01
 CAVIT...			D10	1	00:06:29

图 3-1-25 加工时间对比

3.1.3 剩余铣



剩余铣

型腔铣工序适用于加工带有倾角的侧壁, 由于型腔铣的切削原理是逐层切削, 在倾斜的侧壁难免会留有余量。当我们使用型腔铣方法进行半精加工或者精加工时, 原来已开粗的部分依然会产生刀路。剩余铣加工方法是通过铣侧壁来移除之前的余量材料, 已开粗的部分不再产生刀路。部件和毛坯几何体都必须用之前的父级几何体 WORKPIECE 定义。切削区域由上一道工序的 IPW 定义。我们需要对零件中选中的平面或者加工区域分别指定不同的切削模式和切削参数, 以实现不同加工区域的多种切削模式的加工。

下面以如图 3-1-26 所示零件的加工为例进行介绍。

加工步骤如下。

步骤 1~3 与型腔铣中的 1. 粗加工中的 (1)~(3) 相同, 下面从第 4 步开始介绍。利

用型腔铣得到如图 3-1-27 所示的粗加工效果。

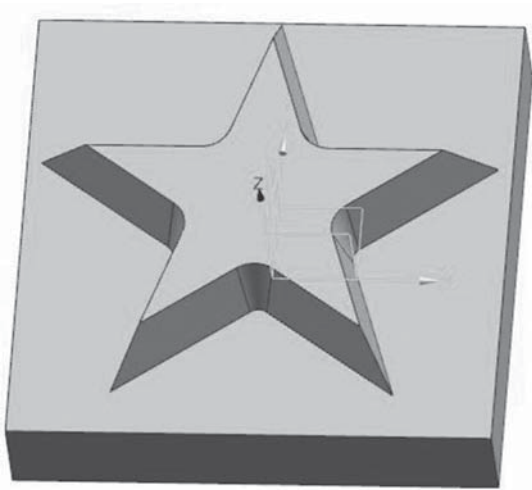


图 3-1-26 加工零件

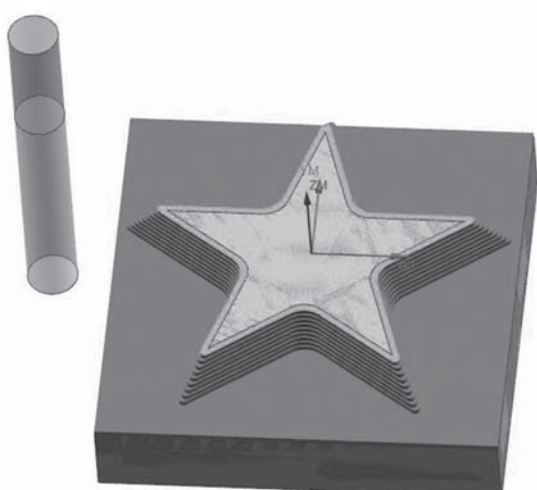


图 3-1-27 粗加工效果

半精加工步骤如下。

1. 创建刀具

(1) 单击  图标，进入“创建刀具”界面，选择刀具子类型中的球刀 ，在“名称”文本框输入球刀的直径大小“B4”作为刀具名称，单击“确定”按钮进入刀具参数设置对话框。

(2)。在“尺寸”区域中的“球直径”文本框中填入“4.0000”，在“编号”区域中“刀具号”“补偿寄存器”“刀具补偿寄存器”三项文本框中填入“2”，如图 3-1-28 所示。单击“确定”按钮完成刀具建立。

2. 创建剩余铣加工工序

(1) 右击  CAVITY_MILL 图标，弹出工具对话框，选择“插入”选项卡中的“工序”选项。

(2) 弹出“创建工序”对话框，如图 3-1-29 所示，在“位置”区域中，“刀具”下拉菜单选择“B4 (铣刀 -5 参数)”选项，“方法”下拉菜单选择“MILL_SEMI_FINISH”选项。单击“确定”按钮进入“剩余铣”对话框。

(3) 在“几何体”→“指定切削区域”中单击  图标进入“切削区域”对话框，如图 3-1-30 所示。单击五角星凸台的侧壁作为切削面（也可以左键按住不放框选整个五角星，再按住 Shift 键，单击中间的五角星顶面，取消顶面的选取），如图 3-1-31 所示。



图 3-1-28 刀具参数



图 3-1-29 工序选择



图 3-1-30 指定切削区域

(4) 在“刀轨设置”→“切削模式”区域中选择 跟随周边 切削模式选项。将切削深度的最大距离由“2.0000”改为“0.5000”，如图 3-1-32 所示。单击“操作”区域中的 图标，预览刀具路径参数的设置效果，如图 3-1-33 所示。

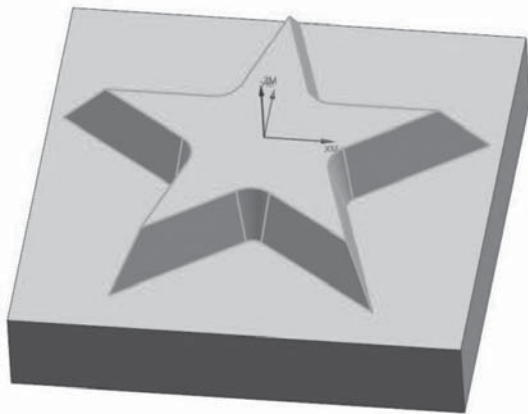


图 3-1-31 选择切削面



图 3-1-32 刀轨参数设置

(5) 单击“刀轨设置”区域中的 (进给率和速度) 图标，进入“进给率和速度”对话框，在“主轴速度”区域中，勾选 图标，在文本框中填入 3500，在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 1000，单击 图标进行计算，单击“确定”按钮返回“剩余铣”界面。

(6) 单击“操作”区域中的 图标进行计算，再单击 图标，进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行 3D 仿真操作，把“动画速度”调整到 2，便于观察。单击 图标进行仿真，如图 3-1-34 所示。确认无误后，单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

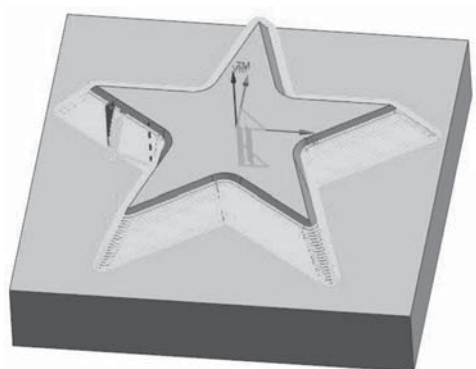


图 3-1-33 刀轨预览

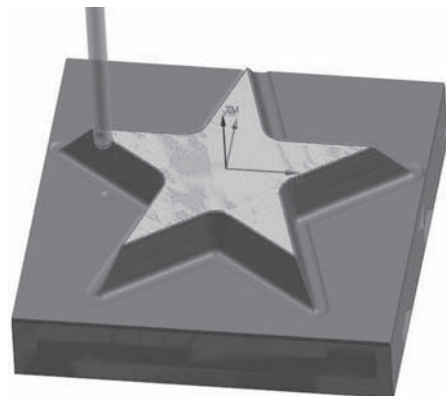


图 3-1-34 加工仿真

3.1.4 深度轮廓铣

深度轮廓铣通过多个切削层来加工零件表面轮廓。在深度轮廓铣操作中，除了可以指定部件几何体外，还可以指定部件的某些加工曲面，方便限制切削区域。如果没有指定切削区域，则将对整个零件进行切削。

下面依然以如图 3-1-26 所示零件的加工为例进行介绍。之前已经介绍了对零件进行粗加工和半精加工，下面介绍利用深度轮廓铣对零件进行精加工。

加工步骤如下。

1. 创建深度轮廓铣加工工序

(1) 右击 REST_MILLING 图标，弹出工具菜单，选择“插入”选项卡中的“工序”选项，如图 3-1-35 所示。

(2) 弹出“创建工序”对话框，选择 (深度轮廓铣) 工序，如图 3-1-36 所示，在



深度轮廓铣



图 3-1-35 插入工序



图 3-1-36 工序选择

“位置”区域中，“刀具”下拉菜单选择“B4（铣刀 - 球头铣）”选项，“方法”下拉菜单选择“MILL_FINISH”选项，单击“确定”按钮进入“深度轮廓铣”对话框。

（3）在“几何体”→“指定切削区域”区域中单击图标进入“切削区域”对话框，如图 3-1-37 所示。单击五角星凸台的侧壁作为切削面（也可以按住左键拖动框选整个五角星，再按住 Shift 键，单击中间的五角星顶面，取消对顶面的选取），如图 3-1-38 所示。



图 3-1-37 指定切削区域

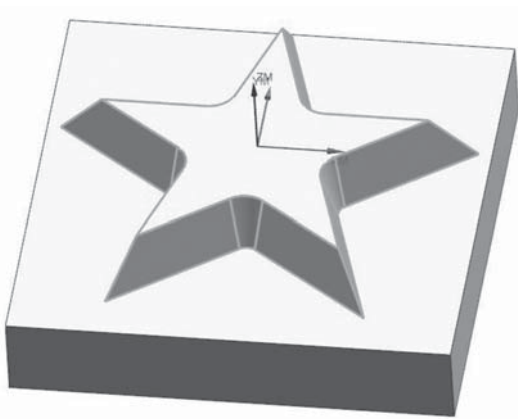


图 3-1-38 选择切削面

（4）在“刀轨设置”对话框中，将切削深度的“最大距离”由“2.0000”改为“0.2000”，如图 3-1-39 所示。单击“操作”区域中的图标，预览刀具路径参数的设置效果，如图 3-1-40 所示。



图 3-1-39 刀轨参数设置

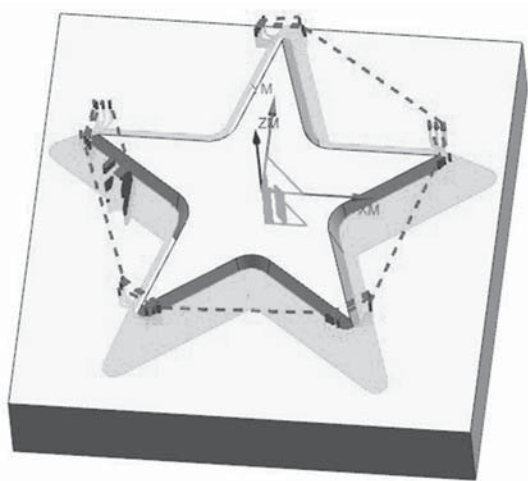


图 3-1-40 刀轨预览

（5）单击“刀轨设置”对话框中的（进给率和速度）图标，进入“进给率和速度”对话框，如图 3-1-41 所示。在“主轴速度”区域中，勾选图标，在文本框中填入“5000.000”，在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入“800.0000”，单击图标进行计算，单击“确定”按钮返回“深度轮廓铣”界面。

(6) 单击“操作”区域中的图标进行计算,再单击图标,进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行3D 仿真操作,把“动画速度”调整到2,便于观察。单击图标进行仿真,如图3-1-42所示。确认无误后,单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

(7) 可以用平面铣或者型腔铣进行底面精加工,如图3-1-43所示。



图3-1-41 切削参数



图3-1-42 加工仿真

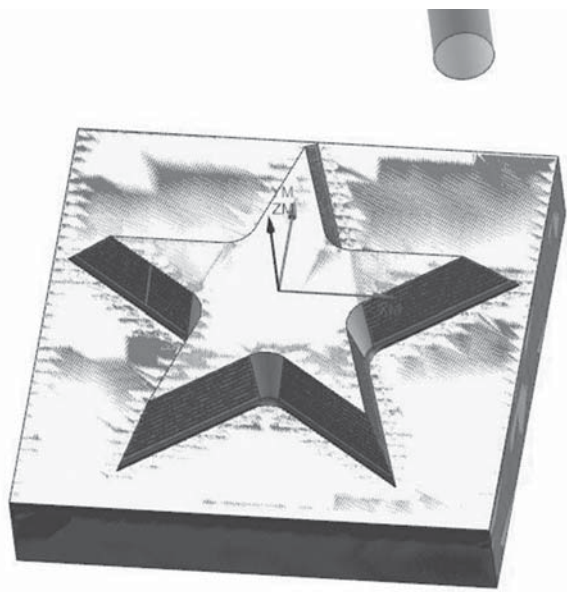


图3-1-43 底面精加工

3.1.5 单刀路清根

单刀路清根一般用于零件的边角和凹槽处的加工,清除在上一道工序中由于刀具直径过大导致的未能切除的余量材料,因此采用直径较小的刀具。单刀路清根经常用于切除零件或岛屿的直壁与底面之间的边缘材料。

下面以如图3-1-44所示零件的加工为例进行介绍。

参考之前的内容,对如图3-1-44所示的零件进行粗加工、半精加工和精加工,效果如图3-1-45所示。我们可以在仿真效果图中发现,精加工后底部的圆角处有大量的余料,这是因为精加工时采用了半径为2的B4球刀,而零件的底部圆角半径为1,所以球刀无法切入,残留大量的余料。下面用单刀路清根工序进行清角加工。



单刀路清根



图 3-1-44 零件图

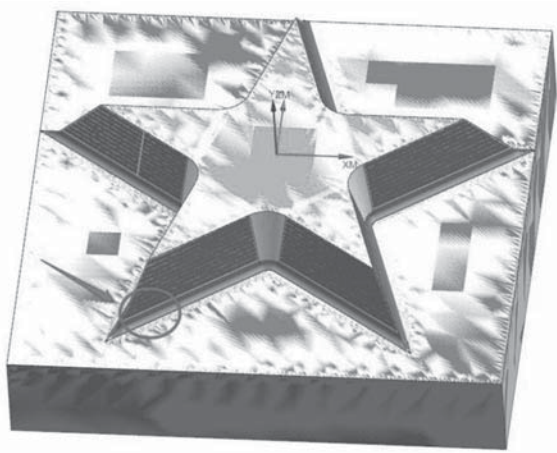


图 3-1-45 加工效果图

清角加工步骤如下。

1. 创建刀具

(1) 单击  图标，进入“创建刀具”界面，选择刀具子类型中的球刀 ，在“名称”文本框中输入球刀的直径大小“B2”作为刀具名称，单击“确定”按钮进入刀具参数设置对话框。

(2) 在“尺寸”区域中的“球直径”文本框中填入“2.0000”，在“编号”区域中“刀具号”“补偿寄存器”“刀具补偿寄存器”三项文本框中填入“3”，如图 3-1-46 所示。单击“确定”按钮完成刀具建立。

2. 创建单刀路清根加工工序

(1) 单击  图标，弹出“创建工序”对话框，在工序子类型中选择  (单刀路清根) 工序。

(2) 在位置区域中，“程序”下拉菜单选择“PROGRAM”选项，“刀具”下拉菜单选择“B2 (铣刀 - 球头铣)”选项，“几何体”下拉菜单选择“WORKPIECE”选项，“方法”下拉菜单选择“MILL_FINISH”选项，如图 3-1-47 所示。单击“确定”按钮进入“单刀路清根”对话框，如图 3-1-48 所示。

(3) 单击“操作”区域中的  图标，预览刀具路径参数的设置效果，如图 3-1-49 所示。

(4) 单击“刀轨设置”对话框中的  (进给率和速度) 图标，进入“进给率和速度”对话框，在“主轴速度”区域中，勾选  图标，在文本框中填入 5000，在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 800，单击  图标进行计算，单击“确定”按钮返回“单刀路清根”界面。

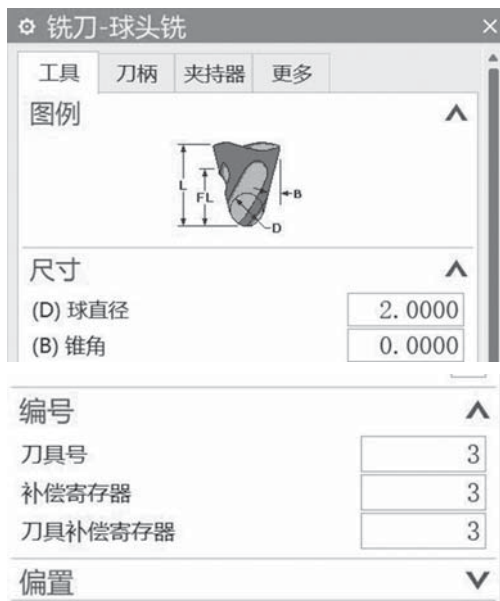


图 3-1-46 刀具参数



图 3-1-47 工序选择



图 3-1-48 单刀路清根参数

(5) 单击“操作”区域中的图标进行计算，再单击图标，进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行 3D 仿真操作，把“动画速度”调整到 2，便于观察。单击图标进行仿真，如图 3-1-50 所示。确认无误后，单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

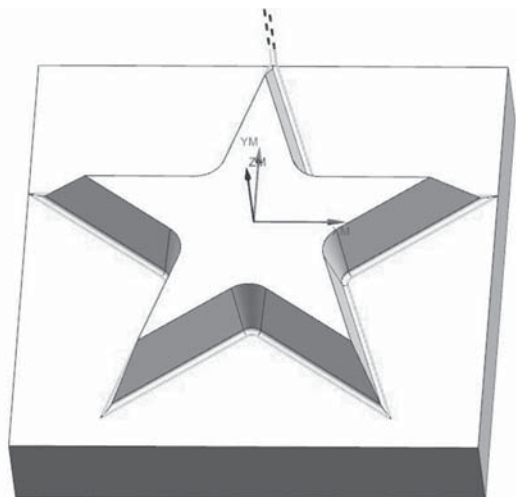


图 3-1-49 刀路预览

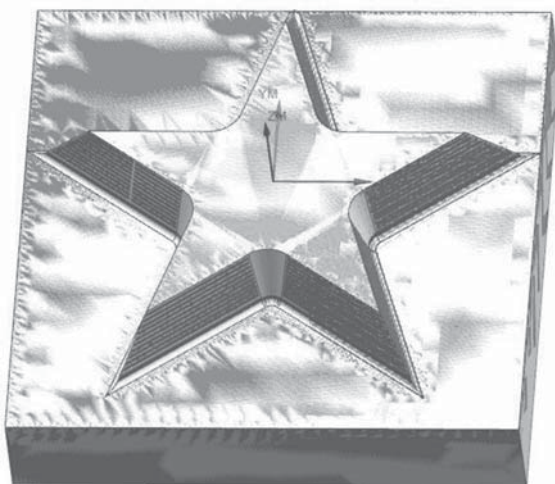


图 3-1-50 加工仿真

3.1.6 固定轮廓铣

固定轮廓铣是一种刀具沿曲面外形运行的加工方式，常用于曲面的半精加工和精加



固定轮廓铣

工。它可在复杂曲面上产生精密的刀具路径，其刀具路径是经由投影导向点到零件表面产生，其中导向点可由曲线、边界、表面或曲面等驱动图形产生。

固定轮廓铣通过不同的驱动方法来加工不同类型的部件，常用的驱动方法有曲线 / 点、边界、区域铣削、区域曲面、流线等。

以如图 3-1-51 所示零件的加工为例进行介绍。

加工步骤如下。

1. 进入加工模块

(1) 打开如图 3-1-51 所示的“加工零件”建模文件。

(2) 在“应用模块”功能选项卡中单击  (加工) 按钮，在弹出的“加工环境”对话框中的“要创建的 CAM 组装”模块选择“mill_contour”选项，再单击“确定”按钮，如图 3-1-52 所示。



图 3-1-51 加工零件



图 3-1-52 模块选择

2. 创建几何体模块

(1) 单击  (几何视图) 图标，进入几何视图界面。双击  MCS_MILL 图标，弹出“MCS 铣削”对话框。

(2) 在“MCS 铣削”对话框单击  图标，系统弹出“坐标系”对话框。单击  图标，弹出如图 3-1-53 所示“点”的对话框，在“Z”文本框中输入零件的高度 25。单击“确定”按钮返回，得到如图 3-1-54 所示的加工原点坐标系。

在“MCS 铣削”对话框中的“安全设置”模块选择“平面”选项。单击  图标，弹出“平面”对话框，选择如图 3-1-55 所示的平面，在距离文本框中输入“15”。单击“确定”按钮完成安全平



图 3-1-53 加工原点的设置

面的设置。

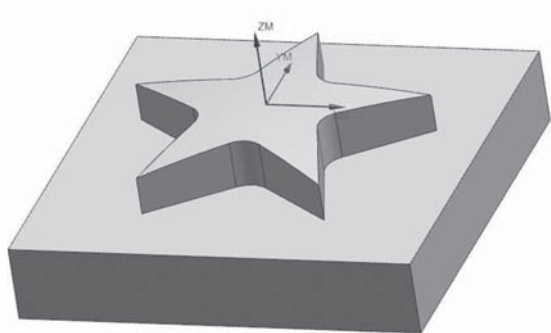


图 3-1-54 加工原点坐标系

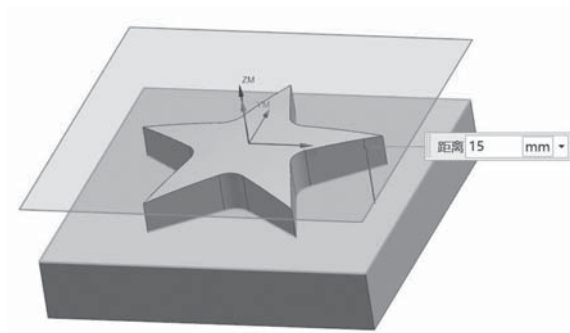


图 3-1-55 安全平面的设置

3. 创建毛坯几何体

(1) 单击 图标中的“+”，展开列表。双击 WORKPIECE 图标，弹出“工件”对话框。

(2) 单击 (指定部件) 图标，弹出“部件几何体”对话框，选取加载零件作为加工最终部件，单击“确定”按钮返回“工件”对话框。

(3) 单击 (指定毛坯) 图标，弹出“毛坯几何体”对话框，单击 对话框右侧的 图标，选择 部件的偏置 选项，在“偏置”文本框中填入 0.5，单击“确定”按钮返回“工件”对话框。

(4) 单击 (显示) 图标，观察设置的部件和毛坯是否符合要求，如图 3-1-56 所示。

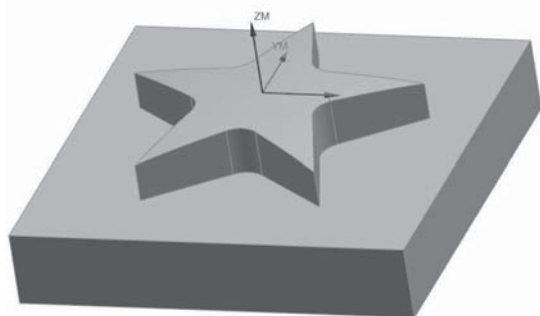


图 3-1-56 加工毛坯

4. 刀具创建

(1) 单击 图标，进入“创建刀具”界面，选择刀具子类型中的球刀 ，在“名称”文本框中输入球刀的直径大小“B4”作为刀具名称，单击“确定”按钮进入刀具参数设置对话框。

(2) 在“尺寸”区域中的“球直径”文本框中填入 4，在“编号”区域中“刀具号”“补偿寄存器”“刀具补偿寄存器”三项文本框中填入 1，单击“确定”按钮完成刀具建立。

5. 创建固定轮廓铣加工工序

(1) 单击 图标，弹出“创建工序”对话框，在工序子类型中选择 (固定轮廓铣) 加工工序。

(2) 在位置区域中，“程序”下拉菜单选择“PROGRAM”选项，“刀具”下拉菜单选择“B4 (铣刀 - 球头铣)”选项，“几何体”下拉菜单选择“WORKPIECE”选项，“方法”

下拉菜单选择“MILL_FINISH”选项，如图 3-1-57 所示。单击“确定”按钮进入“固定轮廓铣”对话框，如图 3-1-58 所示。



图 3-1-57 工序选择



图 3-1-58 参数设置

(3) 设置驱动方式。

①在驱动方式对话框中，驱动方法选择“边界”选项。单击图标，进入“边界驱动方法”设置界面，如图 3-1-59 所示。在驱动设置区域，将“步距”设置为“恒定”，“最大距离”设置为“0.2000”。单击驱动几何体区域中的图标，进入边界几何体界面，如图 3-1-60 所示。把模式下拉菜单由“边界”改为“曲线/边”选项，进入“创建边界”界



图 3-1-59 边界驱动方法设置



图 3-1-60 “边界几何体”界面

面,如图 3-1-61 所示。把平面的“自动”下拉菜单改为“用户定义”选项,选择顶面作为投影面,如图 3-1-62 所示。依次选择五角星顶面的边角线作为驱动边界,如图 3-1-63 所示。连续单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面,单击图标计算刀轨,如图 3-1-64 所示。



图 3-1-61 创建边界

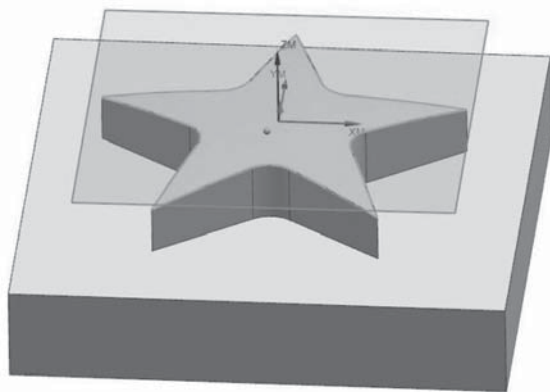


图 3-1-62 投影面的设置

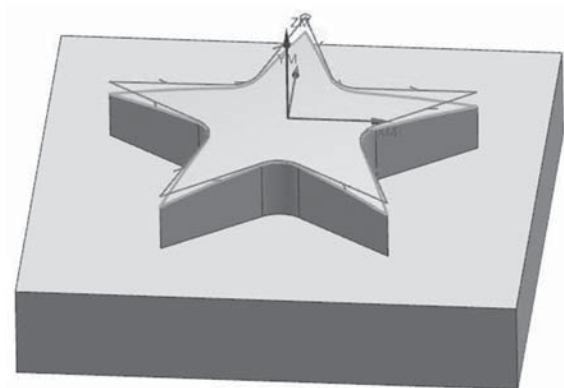


图 3-1-63 边界的指定

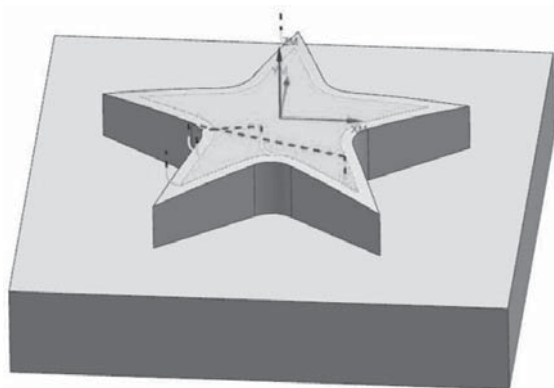


图 3-1-64 刀轨预览

边界驱动方法是通过指定边界定义切削区域的。边界驱动方法产生的刀轨,控制铣削刀具不能超过边界划定的范围,导致刀轨与边界之间相隔一个刀具半径的距离没办法产生刀轨,曲面没有全部加工完成,如图 3-1-65 所示。

②在驱动方式对话框中,驱动方法选择“区域铣削”选项,进入“区域铣削驱动方法”设置界面,如图 3-1-66 所示。在驱动设置区域,“步距”选择“恒定”选项,“最大距离”设置为“0.2000”,“步距已应用”选择“在部件上”选项(在平面模式,“刀轨间隔”为投影平



图 3-1-65 加工仿真图

面间隔；在部件模式，“刀轨间隔”为曲面上投影的间隔），如图 3-1-67 所示。单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面，单击图标，选取顶面作为切削区域，如图 3-1-68 所示。单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面，单击图标计算刀轨，如图 3-1-69 所示。



图 3-1-66 区域铣削驱动方法设置



图 3-1-67 驱动设置

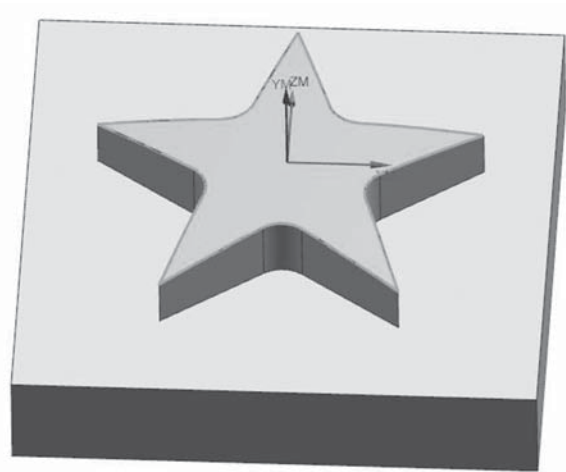


图 3-1-68 切削区域

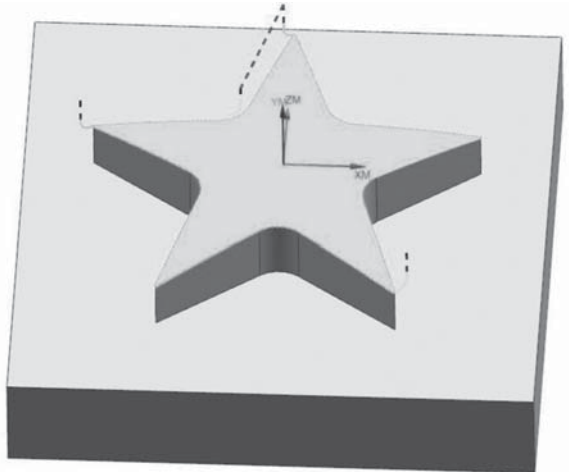


图 3-1-69 刀轨预览

区域铣削驱动方法允许指定一个切削区域来产生刀位轨迹。仿真加工后，我们可以看到区域铣削驱动方法可以把曲面很好地加工出来，如图 3-1-70 所示。

③驱动方式“曲面区域”。在驱动方式对话框中选择驱动方法为“曲面区域”选项，进入“曲面区域驱动方法”设置界面，如图 3-1-71 所示。在驱动设置区域，选择“步距”为“残余高度”选项，“最大残余高度”设置为“0.0100”，如图 3-1-72 所示。



图 3-1-70 加工仿真图



图 3-1-71 曲面区域驱动方法设置

在驱动几何体区域，单击图标，进入“驱动几何体”界面，单击五角星顶面，选取顶面作为曲面驱动体，如图 3-1-73 所示。单击（切削方向）图标，选择向内的切削方向，如图 3-1-74 所示。单击（材料反向）图标，使加工方向与图 3-1-75 一致。



图 3-1-72 驱动设置

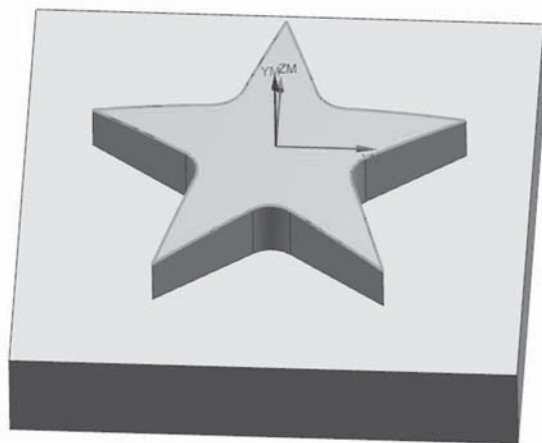


图 3-1-73 切削区域

单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面，单击刀轨设置区域中的（非切削移动）图标，进入非切削移动界面，在进刀模块，将开放区域中的“进刀类型”改为“无”选项，将初始区域中的“进刀类型”改为“线性”选项，如图 3-1-76 所示。单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面，单击图标计算刀轨，如图 3-1-77 所示。



图 3-1-74 切削方向

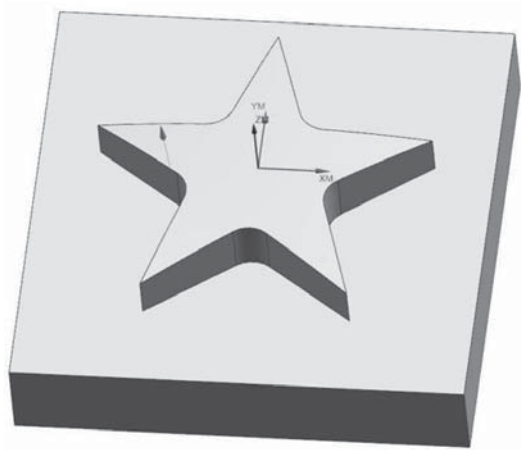


图 3-1-75 加工方向



图 3-1-76 非切削移动设置

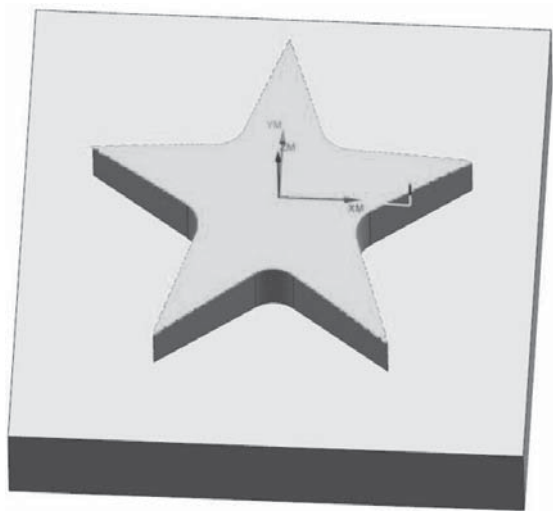


图 3-1-77 刀轨预览

曲面区域驱动是一种用于精加工，由轮廓曲面所形成区域的加工方式。它通过精确控制刀具轴和投影矢量，使刀具沿着非常复杂曲面的轮廓进行切削运动。仿真加工后，我们可以看到曲面区域驱动方法把曲面很好地加工出来，如图 3-1-78 所示。

④在驱动方式对话框中选择驱动方法为“流线”选项，进入流线驱动方法设置界面。在驱动设置区域，将“步距”设置为“残余高度”选项，“最大残余高度”设置为“0.0100”，如图 3-1-79 所示。

在流曲线区域，单击“列表”标题，展开选取流曲线界面，单击五角星顶面的左边线作为流曲线 1，如图 3-1-80 所示。单击  (添加新集) 图标，再选取五角星顶面的右边线

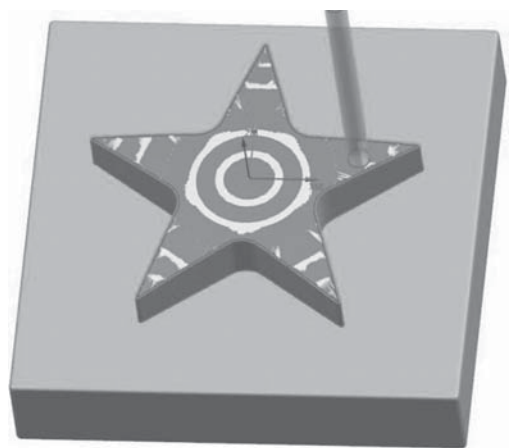


图 3-1-78 仿真加工

作为流曲线 2，如图 3-1-81 所示。



图 3-1-79 曲面区域驱动方法设置



图 3-1-80 流线设置 1



图 3-1-81 流线设置 2

单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面，单击刀轨设置区域中的（非切削移动）图标，进入“非切削移动”界面，在“进刀”模块下，将开放区域下的“进刀类型”改为“无”选项，将初始区域下的“进刀类型”改为“线性”选项，如图 3-1-82 所示。单击“确定”按钮返回“固定轮廓铣”界面，单击图标计算刀轨，如图 3-1-83 所示。



图 3-1-82 非切削移动设置

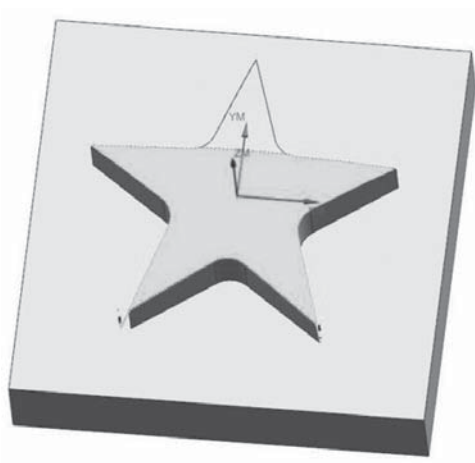


图 3-1-83 刀轨预览

相对于其他驱动方式，流线驱动方式以自动指定流曲线或指定流曲线与交叉曲线来生成刀轨，它能在任何复杂曲面上生成相对均匀分布的刀轨，如图 3-1-84 所示。

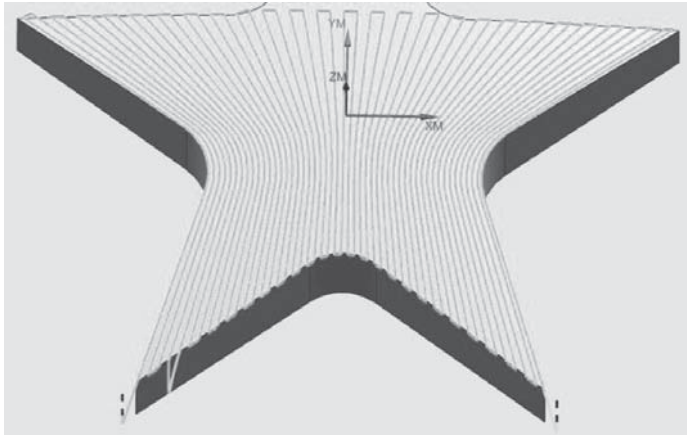


图 3-1-84 流线驱动刀轨方向

3.1.7 实体轮廓 3D



实体轮廓 3D

实体轮廓 3D 工序主要用于复杂零件的外形轮廓的加工，以零件壁作为切削区域。它常用于倒角、侧壁、凹槽、型腔内壁等的精加工。

下面以如图 3-1-85 所示零件的加工为例进行介绍。

参考之前的内容，对如图 3-1-85 所示的加工零件进行粗加工和精加工，加工效果如图 3-1-86 所示。下面我们利用直径 6 的倒角刀 C6 进行倒角处理。



图 3-1-85 加工零件



图 3-1-86 加工效果

1. 创建刀具

(1) 单击  图标，进入“创建刀具”界面，选择刀具子类型中的倒角刀 ，在“名

称”文本框中输入平底刀的直径大小“C6”作为刀具名称,单击“确定”按钮进入刀具参数设置对话框。

(2) 在“尺寸”区域中的“直径”文本框中填入“6.0000”,“倒斜角长度”文本框中填入“3.0000”。在“编号”区域中“刀具号”“补偿寄存器”“刀具补偿寄存器”三项中填入“4”,如图3-1-87所示,单击“确定”按钮完成刀具建立。

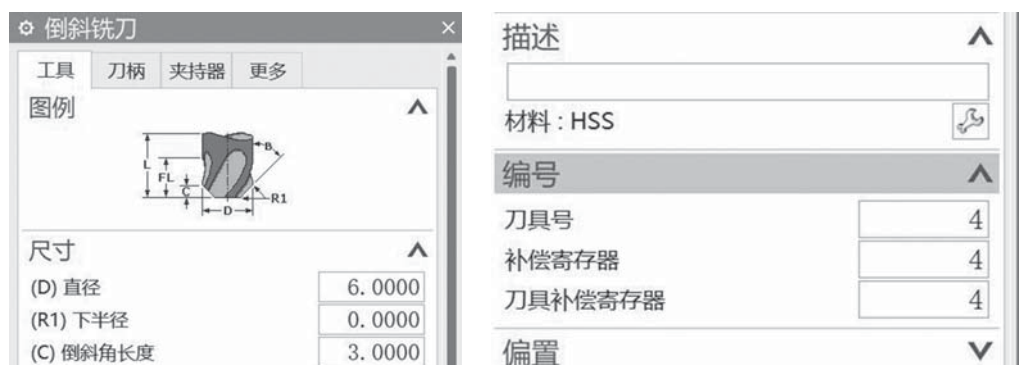


图 3-1-87 刀具参数

2. 创建实体轮廓 3D 加工工序

(1) 单击  图标,弹出“创建工序”对话框,在工序子类型中选择  (实体轮廓 3D) 工序。

(2) 在“位置”区域中,“程序”后下拉菜单选择“PROGRAM”选项,“刀具”下拉菜单选择“C6 (倒斜铣刀)”选项,“几何体”下拉菜单选择“WORKPIECE”选项,“方法”下拉菜单选择“MILL_FINISH”选项,如图3-1-88所示。单击“确定”按钮进入“实体轮廓 3D”界面,如图3-1-89所示。



图 3-1-88 工序选择



图 3-1-89 “实体轮廓 3D”界面

(3) 单击几何体区域中的 (指定壁) 图标, 进入“壁几何体”选取界面, 依次选取如图 3-1-90 所示的倒角面。单击“确定”按钮返回“实体轮廓 3D”界面, 在“刀轨设置”区域, 设置“部件余量”为“-1.5000”, “Z 向深度偏置”为“1.5000”, 如图 3-1-91 所示。



图 3-1-90 倒角面选取



图 3-1-91 刀轨设置

(4) 单击“操作”区域中的 图标, 预览刀具路径参数的设置效果, 如图 3-1-92 所示。

(5) 单击“刀轨设置”对话框中的 (进给率和速度) 图标, 进入“进给率和速度”对话框, 在“主轴速度”区域中, 勾选 图标, 在文本框中填入 2500, 在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 1000, 单击 图标进行计算, 单击“确定”按钮返回“实体轮廓 3D”界面。

(6) 单击“操作”区域中的 图标进行计算, 再单击 图标, 进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行 3D 仿真操作, 把“动画速度”调整到 2, 便于观察。单击 图标进行仿真, 如图 3-1-93 所示。确认无误后, 单击“确定”按钮后完成工序创建。

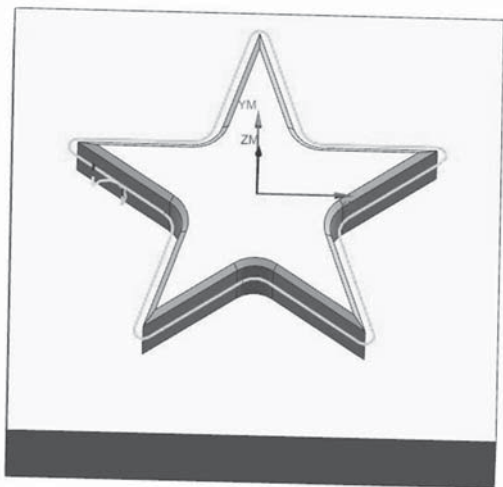


图 3-1-92 刀轨预览

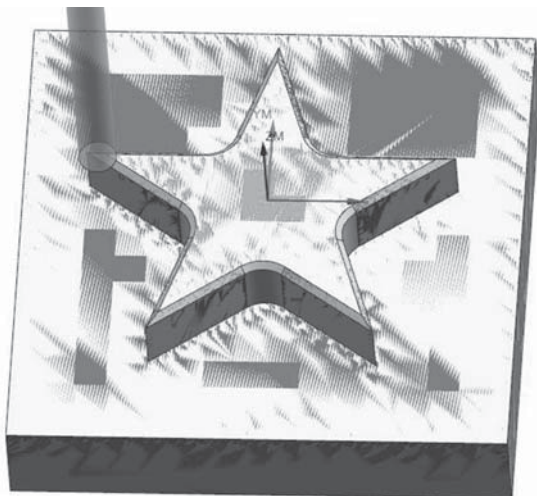


图 3-1-93 加工仿真

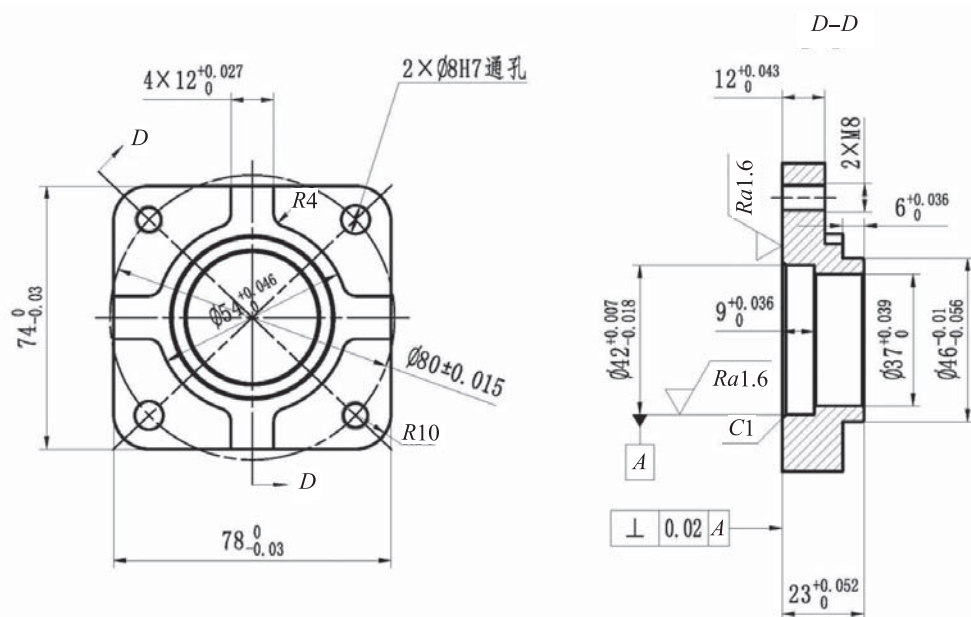
任务 3.2 “1+X” 证书项目的轮廓铣加工编程

3.2.1 项目分析

图 3-2-1 所示的零件图是数控车铣加工职业技能等级（中级）实操练习题之一。由图可知，我们需要加工一个尺寸为 $78_{-0.03}^0 \times 74_{-0.03}^0 \times 23_{-0.03}^{+0.052}$ 的轴承座，加工基准为 A 面，公差为 $\perp 0.02 A$ 。在上一个项目中我们已经加工了基准面 A 面所在的形状和尺寸。我们接着加工反面 B 面，由于 A 面的轴承孔 $\phi 42_{-0.018}^{+0.007}$ 与反面 B 面孔 $\phi 37_{-0.018}^{+0.039}$ 有同轴要求，因此反面 B 面的形状和尺寸加工的基准也按孔 $\phi 42_{-0.018}^{+0.007}$ 的圆心为基准。反面 B 面的加工坐标原点必须设置在孔 $\phi 37_{-0.018}^{+0.039}$ 的圆心上。在实际加工中，应采取分中棒对 A 面已加工好的孔 $\phi 37_{-0.018}^{+0.039}$ 进行分中，找出 X 、 Y 轴的中心点，达到减少对刀误差的目的。



“1+X” 证书项目的
轮廓铣削加工编程



技术要求

1. 去毛刺，锐边倒钝；
2. 未注倒角 $C0.5$ ；
3. 未注公差尺寸的极限偏差按 GB/T 1804—2000—m。

$Ra3.2$ (✓)

图 3-2-1 零件图

3.2.2 轮廓铣加工工艺选择

以反面 B 面的加工为例，根据广州数控 990MA 数铣加工中心（不带刀库）的加工设

备的具体情况，列举部分的加工铣削加工工艺，如表 3-2-1 所示。

表 3-2-1 加工工艺表

加工工序	加工方式	加工刀具	主轴转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	进给率 / ($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)	余量 / mm
顶面	精加工	$\phi 12$ 平底刀	4500	1000	0
高度 $23_0^{+0.052}$ 尺寸控制	精加工	$\phi 12$ 平底刀	4500	1000	0
凸台尺寸 $6_0^{+0.036}$	粗加工	$\phi 12$ 平底刀	4000	2000	0.2
凸台尺寸 $6_0^{+0.036}$	精加工	$\phi 12$ 平底刀	4500	1000	0
底面尺寸 $12_0^{+0.043}$	粗加工	$\phi 12$ 平底刀	4000	2000	0.2
底面尺寸 $12_0^{+0.043}$	精加工	$\phi 12$ 平底刀	4500	1000	0

3.2.3 编程工序的确定

下面以高度 $23_0^{+0.052}$ 尺寸控制和凸台尺寸 $6_0^{+0.036}$ 的加工为例。图 3-2-2 是轴承座正面 A 面加工后的效果图，我们接着来加工反面 B 面。

加工步骤如下。

1. 创建几何体模块

(1) 单击  (几何视图) 图标，进入几何视图界面。右击 A 面加工最后一个工序，选择“插入”→“几何体”选项，如图 3-2-3 所示，进入“创建几何体”界面，如图 3-2-4 所示。单击“确定”按钮进入“MCS”界面。选取顶面圆边，自动捕捉圆心作为坐标原点，如图 3-2-5 所示。旋转坐标系 180° ，得到如图 3-2-6 所示的坐标系。

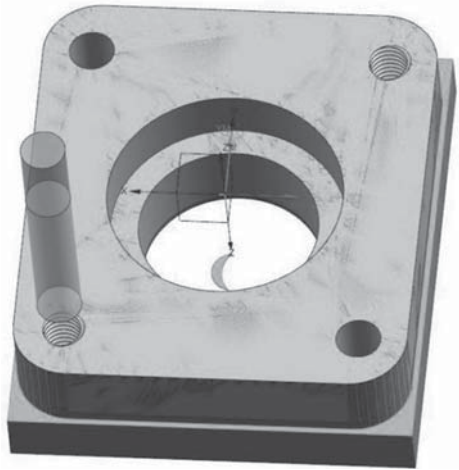


图 3-2-2 A 面加工效果



图 3-2-3 插入几何体



图 3-2-4 创建几何体

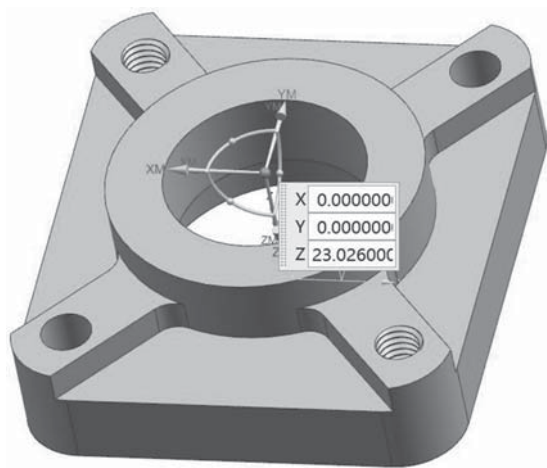


图 3-2-5 坐标系原点

(2) 在“MCS 铣削”对话框中的“安全设置”模块选择“平面”选项，单击图标，弹出“平面”对话框，选择如图 3-2-7 所示的顶面，在“距离”文本框中输入“5”，单击“确定”按钮完成安全平面的设置。

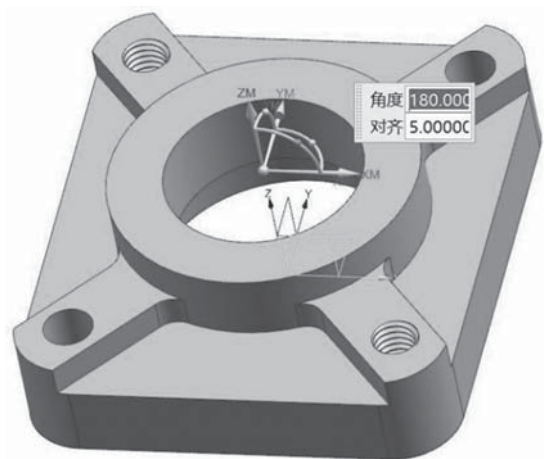


图 3-2-6 坐标系的设置

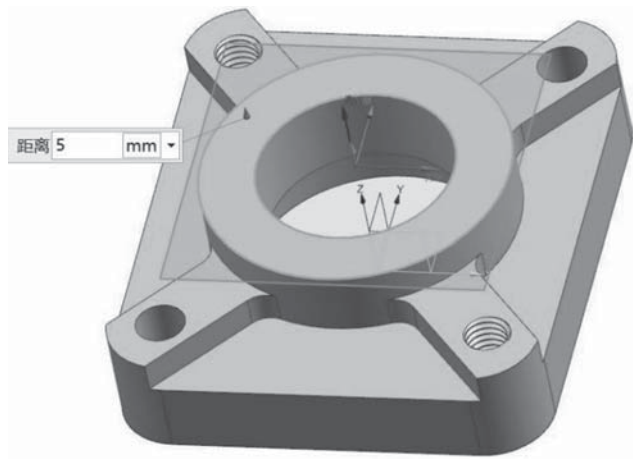


图 3-2-7 安全平面的设置

2. 创建表面铣加工工序

(1) 右击MCS 图标，插入工序，在工序子类型区域中选择（表面铣）工序，如图 3-2-8 和图 3-2-9 所示。

(2) 在“位置”区域中，“程序”下拉菜单选择“PROGRAM”选项，“刀具”下拉菜单选择“D12（铣刀 -5 参数）”选项，“几何体”下拉菜单选择“MCS”选项，“方法”下拉菜单选择“MILL_FINISH”选项，如图 3-2-9 所示。单击“确定”按钮进入“表面铣”对话框。

(3) 在几何体区域中的“指定面边界”对话框中单击图标，进入“毛坯边界”对话框。在边界区域，把“选择方法”的面 设置成为曲线 选项，在零件上选取如图 3-2-10 所示的四条底边作为切削区域。把“平面”下拉菜单中的“自动”改为“指定”，选择顶面作为加工平面，如图 3-2-11 所示。单击“确定”按钮返回“表面铣”界面。

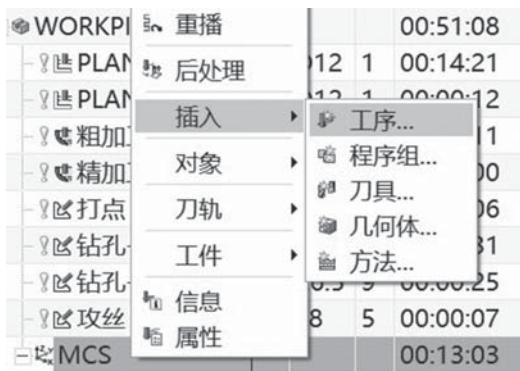


图 3-2-8 插入工序



图 3-2-9 创建面铣工序



图 3-2-10 选择切削区域

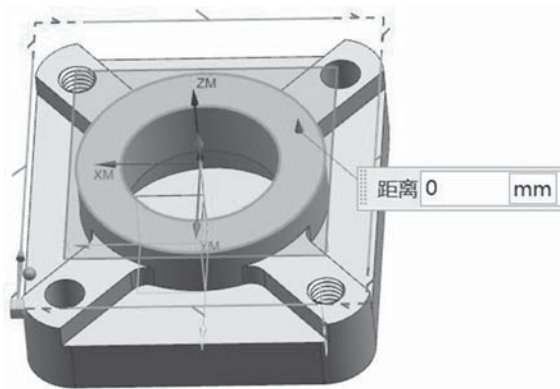


图 3-2-11 指定加工平面

(4) 在刀轴区域中,把“轴”下拉菜单改为“+ZM 轴”选项。在刀轨设置区域中的“切削模式”下拉菜单中选取  切削模式,如图 3-2-12 所示。单击“操作”区域中的  图标,预览刀具路径参数的设置效果,如图 3-2-13 所示。



图 3-2-12 参数设置

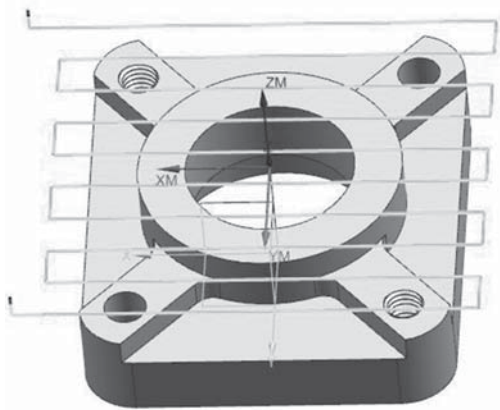


图 3-2-13 刀轨预览

(5) 单击“刀轨设置”对话框中的 (进给率和速度) 图标, 进入“进给率和速度”对话框, 在“主轴速度”区域中, 勾选 图标, 在文本框中填入 4500, 在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 1000, 单击 图标进行计算, 单击“确定”按钮返回“表面铣”界面。

3. 高度 $23_0^{+0.052}$ 尺寸控制

(1) 利用千分尺测量零件的厚度, 并与轴承座的高度 $23_0^{+0.052}$ 对比。假设我们千分尺测量的零件高度值为 23.500 mm, 为了确保成功率, 我们取轴承座最终高度为 23.026 mm。这样可以算出切削量 $H=23.500-23.026=0.474$ mm。

(2) 利用数控铣床的坐标设置功能, 把加工坐标的 Z 轴原点下降 0.474 mm。

(3) 再执行一次表面铣工序, 对表面进行加工, 得到合格的轴承座高度尺寸。

4. 创建自适应铣削粗加工工序

(1) 右击  FACE_MILLING 图标, 弹出快捷菜单, 插入“自适应铣削”工序。

(2) 在位置区域中, “程序”下拉菜单选择“PROGRAM”选项, “刀具”下拉菜单选择“D12 (铣刀-5 参数)”选项, “几何体”下拉菜单选择“MCS”选项, “方法”下拉菜单选择“MILL_SEMI_FINISH”选项, 如图 3-2-14 所示。单击“确定”按钮进入“自适应铣削”对话框。单击几何体设置区域的 (指定修剪边界) 图标, 进入修建边界界面, 把“选择方法”中的 面 改为 曲线 选项, 选择外圆的边作为边界, 如图 3-2-15 所示。



图 3-2-14 工序选择

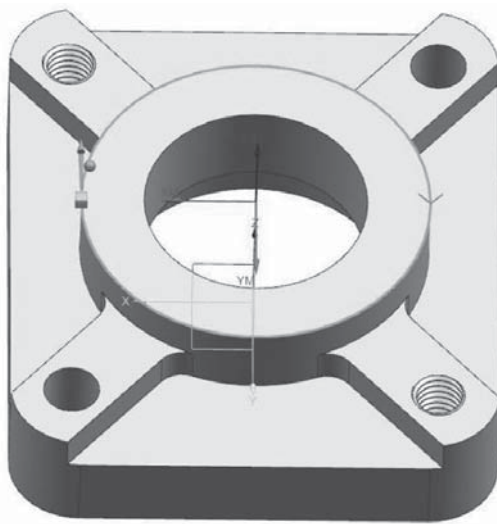


图 3-2-15 边界设置

(3) 在刀轨设置区域中“切削层”对话框中单击 按钮, 进入切削层设置界面。单击凸台的平面作为加工的深度, 如图 3-2-16 所示。单击“操作”区域中的 图标, 预览刀具路径参数的设置效果, 如图 3-2-17 所示。单击“确定”按钮返回“自适应铣削”界面。

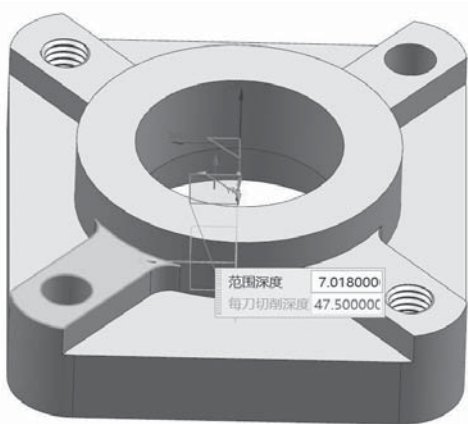


图 3-2-16 切削深度设置

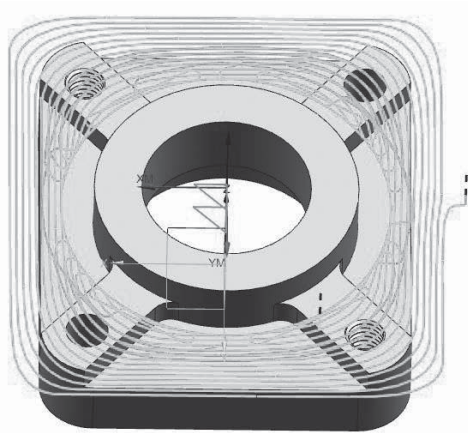


图 3-2-17 刀路预览

(4) 单击“刀轨设置”对话框中的 (进给率和速度) 图标, 进入“进给率和速度”对话框, 在“主轴速度”区域中, 勾选 图标, 在文本框中填入 4000, 在“进给率”区域中的“切削”文本框中填入 2000, 单击 图标进行计算, 单击“确定”按钮返回“自适应铣削”界面。

(5) 单击“操作”区域中的 图标进行计算, 再单击 图标, 进入“刀轨可视化”对话框。单击“3D 动态”图标进行 3D 仿真操作, 把“动画速度”调整到 2, 便于观察。单击 图标进行仿真, 如图 3-2-18 所示。确认无误后, 单击两次“确定”按钮后完成工序创建。

(6) 底面自适应铣削加工(略), 可以参考之前的工序设置, 完成的仿真效果如图 3-2-19 所示。

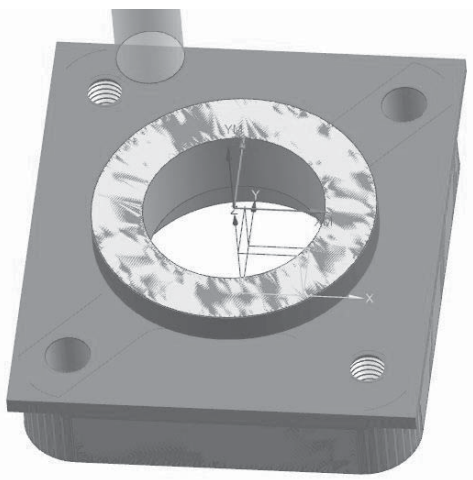


图 3-2-18 仿真加工

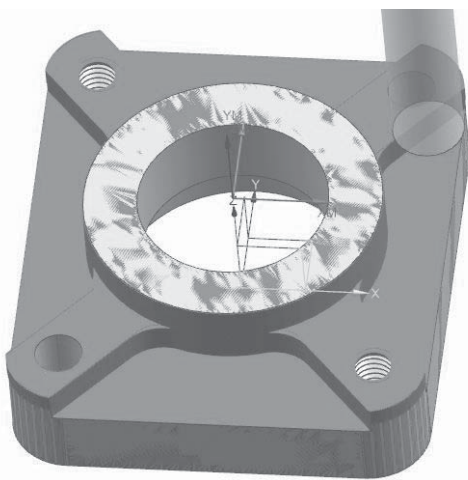


图 3-2-19 仿真效果

思考

能否用型腔铣工序进行粗加工? 如果可以, 请对比它与自适应铣削工序之间的加工效率。

3.2.4 工件的检测与改进

数控车铣加工职业技能等级（中级）实操考核试题附带的考核评分表如图 3-2-20 所示。我们可以通过常用内径千分尺（量程 0~25 mm，见图 3-2-21）进行测量，把测量的实际值填入评分表中，计算出得分。如果无得分，认真分析原因。

数控车铣加工职业技能等级标准（中级）评分表-座承座零件									
试题编号				考生代码				配分	40
场 次		工位编				工件编		成绩小计	
序号	配分	尺寸类型	公称尺寸	上偏差	下偏差	上极限尺寸	下极限尺寸	实际尺寸	得分
A-主要尺寸									
1	2	Ø	46	-0.01	-0.056	45.99	45.944		
2	2.5	Ø	37	0.039	0	37.039	37		
3	4	Ø	42	0.007	-0.018	42.007	41.982		
4	2	L	78	0	-0.03	78	77.97		
5	2	L	74	0	-0.03	74	73.97		
6	2.5	L	23	0.052	0	23.052	23		
7	1	L	12	0.043	0	12.043	12		
8	1	L	6	0.036	0	6.036	6		
9	1	L	9	0.036	0	9.036	9		
10	1	L	12	0.027	0	12.027	12		4处

图 3-2-20 考核评分表

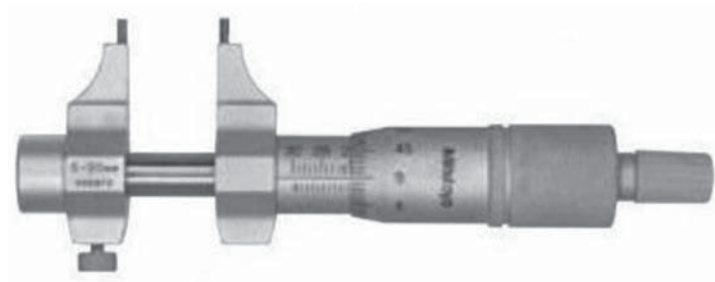


图 3-2-21 内径千分尺

3.2.5 “1+X” 证书项目习题

在 3.2.3 中，学习了零件轴承座中的高度 $23_0^{+0.052}$ 尺寸控制和反面 B 面的粗加工的工艺与编程，请根据零件轴承座图 3-2-1 以及加工工艺表 3-2-2，完成 B 面的精加工编程，效果如图 3-2-22 所示。

表 3-2-2 加工工艺表

加工工序	加工方式	加工刀具	主轴转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	进给率 / ($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)	余量 / mm
圆柱外轮廓 $\phi 46_{-0.056}^{-0.01}$	精加工	$\phi 12$ 平底刀	4500	1000	0
4 个凸台顶面	精加工	$\phi 12$ 平底刀	4500	1000	0

续表

加工工序	加工方式	加工刀具	主轴转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	进给率 / ($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)	余量 / mm
4 个凸台侧壁	精加工	$\phi 8$ 平底刀	4500	1000	0
底面	精加工	$\phi 8$ 平底刀	4500	1000	0

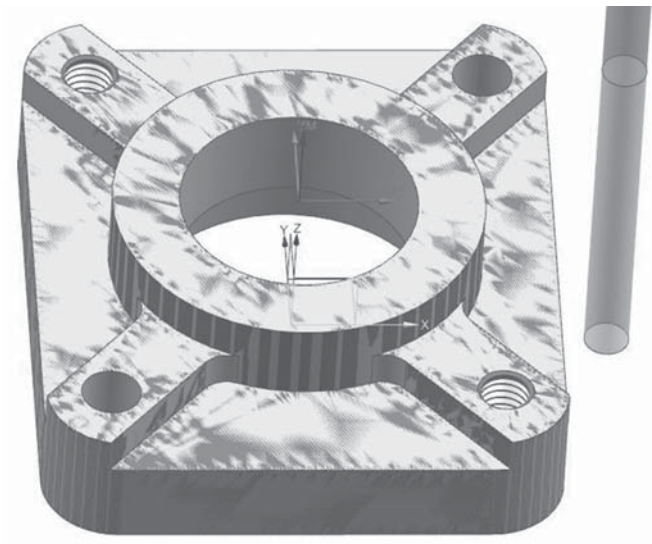


图 3-2-22 加工仿真

学思践悟

为大国重器擦亮“眼睛”的大国工匠——刘湘宾

刘湘宾，汉族，1963 年 6 月出生。刘湘宾现任航天科技集团九院 7107 厂首席技师，是数控铣工高级技师、全国技术能手、陕西省劳动模范、航天技术能手、航天贡献奖获奖者，2016 年获国务院政府特殊津贴、2018 年荣获陕西省“三秦工匠”、2020 年获“中国质量工匠”称号、2021 年获“大国工匠”称号。

刘湘宾是所在单位的数控组长，主要承担国家防务装备惯性导航系统关键件精密陀螺仪的精密、超精密车铣加工任务。在中华人民共和国成立 70 周年大会阅兵式上，当装备方队从天安门城楼前缓缓通过时，刘湘宾油然而生出一股自豪感。

2018 年 5 月，刘湘宾转入石英半球谐振子研究，有人提醒他：“石英玻璃易崩易裂，零件加工精度要求又高，是国际难题。”石英半球谐振子是最先进的精密陀螺仪之一——半球谐振陀螺仪最难加工的核心敏感零部件。作为材料的石英玻璃既硬又脆，形状是薄壁半球壳形，球面十分娇气，易崩易裂，在刀具超高速运转下，稍有不慎，就会导致内外壁厚度出现偏差，精密加工难度极大。

刘湘宾没有退缩，一次次画图、建模、调整刀具、修改编程，反复改进，整整 6 年

时间，成千上万次的试验，最终将精密加工精度提升至1微米，仅仅是一根头发丝直径的七十分之一，远远超出了设计要求，成功打破技术垄断与封锁。

40年时间里，数控铣工刘湘宾只做了擦亮大国重器的“眼睛”这一件事。他带领团队加工的产品参加了100余次国家防务装备、载人航天、探月工程等大型飞行试验任务，一次又一次填补国内空白，使我国成为惯导领域超精密加工的“领跑者”。

“钻技术、传技能、带好人、出精品”这12个字，被已近花甲之年的刘湘宾牢牢地刻在了心里。作为一名一线的技能操作者，他将以国家需要为己任，献身祖国航天事业。

（来源：中工网，2023年1月13日）