

# 成形角度铣刀的应用方法

解亚波, 韩利萍, 王胜, 周斌, 武瑞刚

山西航天清华装备有限责任公司 山西长治 046000

**摘要:** 角度铣刀常应用于多领域小型斜面及精密加工件的机械加工中, 更适合工件的倒角与去毛刺。利用三角函数原理对成形角度铣刀的使用方法进行了归纳总结, 给出了几种常用数控系统的编程实例。

**关键词:** 编程方法; 效率对比; 生产应用; 角度铣刀

## 1 序言

在实际生产中, 经常要对产品的棱角处进行倒角处理, 此类工艺通常采用立铣刀分层编程、球刀曲面编程或成形角度铣刀轮廓编程3种加工方法。采用立铣刀分层编程, 刀具刀尖磨损快, 易降低刀具寿命<sup>[1]</sup>; 采用球刀曲面编程, 生产效率低, 且使用立铣刀和球刀编程都需要手工编制宏程序, 对操作人员的技能水平有一定要求; 采用成形角度铣刀轮廓编程, 只需要在轮廓精加工程序中调整刀具的长度补偿值和半径补偿值即可。由此可见, 成形角度铣刀轮廓编程是3种方法中最合理的加工方法, 但目前操作人员多采用刀具试切方法对刀, 对刀具直径进行假设后, 通过Z方向工件试切的方法确定刀具长度, 该方法只针对单一产品, 更换产品后则需要重新对刀, 因此在对刀方式和编制程序方面需要改进。

## 2 常用成形角度铣刀介绍

图1为一体式硬质合金倒角刀, 常用于对零件轮廓边缘进行去毛刺倒角处理, 常用规格为60°、90°和120°。

图2为一体式角度立铣刀, 常用于加工零件配合部位固定角度的小锥面, 常用刀尖角度<30°。

图3为镶齿可转位大直径角度铣刀, 常用于加工零件的较大斜面, 刀尖角度为15°~75°, 可定制。

## 3 确定刀具对刀方法

以上3种刀具均以刀具的底平面作为对刀点, 在机床上设置Z为零点。刀具Z向预设对刀点如图4所示。

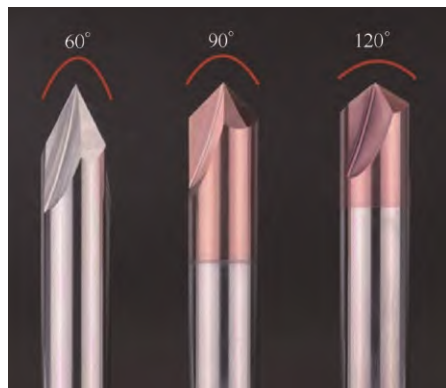


图1 一体式硬质合金倒角刀

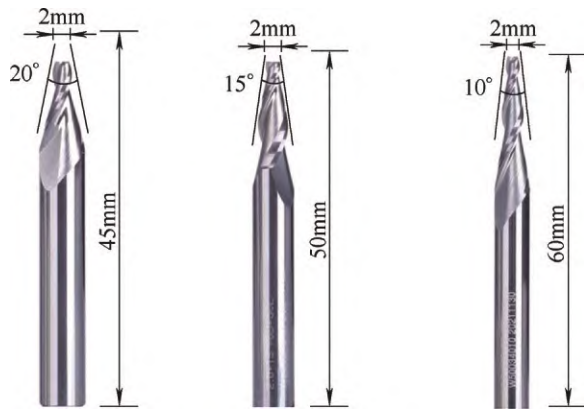


图2 一体式角度立铣刀

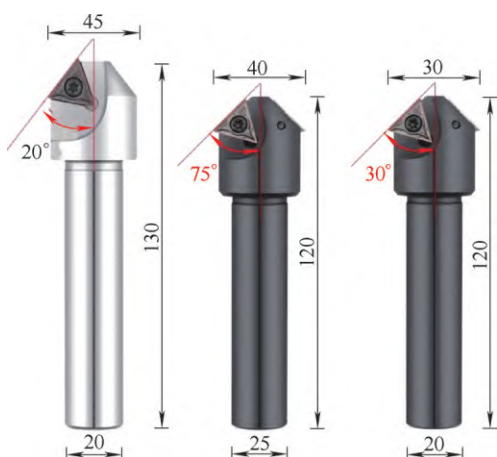


图3 镶齿可转位大直径角度铣刀

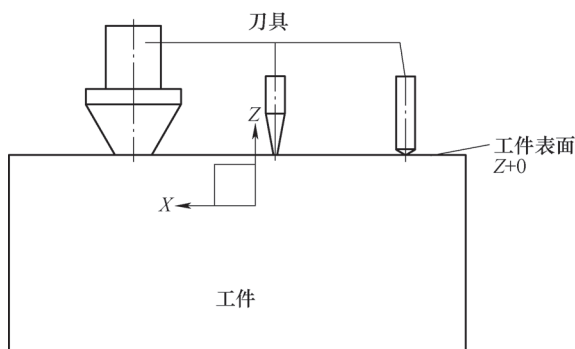


图4 刀具Z向预设对刀点示意

采用该种对刀方式可以保证机床内的刀具长度一致，避免了工件试切对刀具带来的不确定性和人为误差。

#### 4 原理分析

切削加工是将工件上多余的材料层切掉成为切屑，使工件获得规定的几何形状、尺寸和表面粗糙度的加工方式<sup>[2]</sup>。加工的第一步需要让刀具按预想方式与工件产生接触，如图5所示。

从图5中可以看出，让刀具与工件接触，需要给



图5 倒角刀与工件相接触

刀尖点一个位置，这个位置在平面上的体现为一个横坐标与纵坐标，体现在刀具上为接触位置的刀具直径和Z向坐标。倒角刀具与零件接触的各尺寸分解如图6所示，A点为我们需要的位置，设定BC连线的长度为 $L_{BC}$ ，AB连线的长度为 $L_{AB}$ ， $L_{AB}$ 为刀具Z向坐标， $L_{BC}$ 为接触位置的刀具半径。

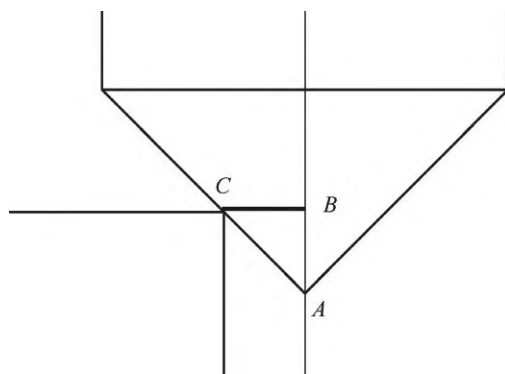


图6 倒角刀具与零件接触各尺寸分解示意

在实际加工中，可以通过优先预设刀具的接触半径或者刀具Z向坐标的方式。因为刀具的刀尖角度是固定的，所以只需要其中一个预设值就可以使用三角函数原理得出另一个预设值<sup>[3]</sup>，计算方式为： $L_{BC} = L_{AB} \tan(\text{刀具刀尖角}/2)$ ， $L_{AB} = L_{BC} / \tan(\text{刀具刀尖角}/2)$ 。

以一体式硬质合金倒角刀为例，假设刀具Z向坐标为-2，可以得出3种刀具的接触半径分别为：60°倒角铣刀接触半径 $= 2 \tan 30^\circ = 1.155$ （mm），90°倒角铣刀接触半径 $= 2 \tan 45^\circ = 2$ （mm），120°倒角铣刀的接触半径 $= 2 \tan 60^\circ = 3.464$ （mm）。

假设刀具接触半径为4.5mm，可以计算得出3种刀具的Z向坐标：60°倒角铣刀Z向坐标值 $= 4.5 / \tan 30^\circ = 7.794$ ，90°倒角铣刀Z向坐标值 $= 4.5 / \tan 45^\circ = 4.5$ ，120°倒角铣刀Z向坐标值 $= 4.5 / \tan 60^\circ = 2.598$ 。

一体式角度立铣刀与零件接触的各尺寸分解如图7所示。与一体式硬质合金倒角刀对比，一体式角度立铣刀在刀尖点有一处小直径平面，刀具接触半径应该为 $(L_{BC} + \text{刀具小径}/2)$ ，具体计算方式如下。

刀具接触半径 $= L_{AB} \tan(\text{刀具刀尖角}/2) + \text{小径}/2$ ，Z向坐标值 $= [\text{刀具接触半径} - (\text{小径}/2)] / \tan(\text{刀具刀尖角}/2)$ 。以一体式角度立铣刀为例，假设刀具Z向坐标为-2，刀具小径为2mm，可以得

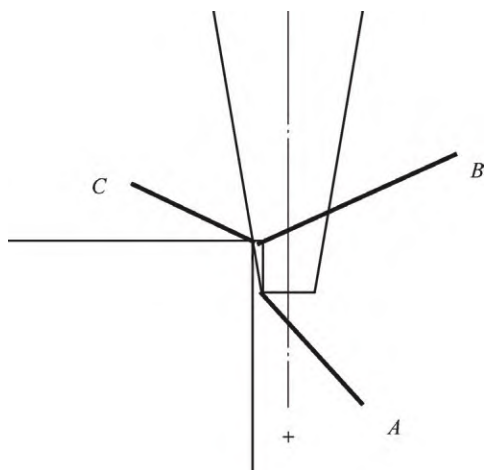


图7 一体式角度立铣刀与零件接触各尺寸分解

出3种刀具的接触半径分别为：20°倒角铣刀接触半径 $=2\tan 10^\circ + 1 = 1.352$ （mm），15°倒角铣刀接触半径 $=2\tan 7.5^\circ + 1 = 1.263$ （mm），10°倒角铣刀接触半径 $=2\tan 5^\circ + 1 = 1.175$ （mm）。

假设刀具接触半径为2.5mm，可计算出20°倒角铣刀Z向坐标值 $= [2.5 - (2/2)] / \tan 10^\circ = 8.506$ ，15°倒角铣刀Z向坐标值 $= [2.5 - (2/2)] / \tan 7.5^\circ = 11.394$ ，10°倒角铣刀Z向坐标值 $= [2.5 - (2/2)] / \tan 5^\circ = 17.145$ 。

图3与图2所示铣刀的计算原理相同，都需要先确定刀具小径的实际大小。

在加工中，选择优先预设刀具半径还是Z向坐标取决于零件结构，当零件有阶梯平面时，优先考虑Z向坐标是否会与工件产生干涉；当零件不存在台阶平面时，优先选择较大的刀具接触半径，可以获得更好的表面质量或更快的加工速度。

选择完上述要素后，根据图样上的倒角和斜面距离要求来选择是缩小刀具半径还是加大Z向进给量。

## 5 编程实例

通过上述对刀具接触点计算原理的分析，发现在使用成形角度铣刀加工斜面时只需要确定刀具刀尖角度、刀具小径半径以及Z向刀具设定值或刀具半径预设值即可。以下分别以发那科的#1、#2，西门子数控系统的R1、R2，大隈数控系统VC1、VC2和海德汉系统的Q1、Q2、Q3的变量赋值为依托，使用数控系统的可编程参数输入方式对特定零件进行编程。发那科、西门子、大隈和海德汉数控系统可

编程参数输入格式分别见表1～表4。

表1 发那科数控系统可编程参数输入格式

| 序号 | 刀具补偿存储器种类       | 指令格式       |
|----|-----------------|------------|
| 1  | H代码（长度补偿）的几何补偿值 | G10L10P_R_ |
| 2  | H代码（长度补偿）的磨损补偿值 | G10L11P_R_ |
| 3  | D代码（半径补偿）的几何补偿值 | G10L12P_R_ |
| 4  | D代码（半径补偿）的磨损补偿值 | G10L13P_R_ |

注：P表示刀具补偿号，R表示绝对值指令（G90）方式下的刀具补偿值。

在本文编程应用中使用序号2、序号3两种方式，Z向坐标采用刀具长度磨损补偿方法，刀具接触半径使用刀具半径几何补偿方法。

表2 西门子数控系统可编程参数输入格式

| 序号 | 刀具补偿存储器种类       | 指令格式          |
|----|-----------------|---------------|
| 1  | H代码（长度补偿）的几何补偿值 | TC_DP3[2,1]=  |
| 2  | H代码（长度补偿）的磨损补偿值 | TC_DP12[2,1]= |
| 3  | D代码（半径补偿）的几何补偿值 | TC_DP6[2,1]=  |
| 4  | D代码（半径补偿）的磨损补偿值 | TC_DP15[2,1]= |

注：指令格式中的“2”表示刀具号，“1”表示刀沿号。

在本文编程应用中使用序号2、序号3两种方式，Z向坐标和刀具接触半径补偿方式同上。

表3 大隈数控系统可编程参数输入格式

| 刀具补偿存储器种类      | 指令格式      |
|----------------|-----------|
| H代码（长度补偿）的偏移数据 | VTOFH[1]= |
| D代码（半径补偿）的补偿数据 | VTOFD[1]= |

注：“1”表示刀具补偿号。

表4 海德汉数控系统可编程参数输入格式

| 刀具补偿存储器种类 | 指令格式 |
|-----------|------|
| 刀具长度差值    | DL   |
| 刀具半径差值    | DR   |

海德汉数控系统可以直接在刀具调用之后，更改刀具长度和半径，DL1为刀具长度加1mm，DL-1为刀具长度减1mm，DR的使用原理同上。

现各数控系统均以 $\phi 40$ mm的圆为例进行轮廓编

程，编程实例如下。

### 5.1 发那科数控系统编程实例

当设定#1=Z向预设值时，则#2=#1\*tan（刀具刀尖角/2）+（小径半径），程序如下。

```
G10L11P（长度刀补号）R-#1
G10L12P（半径刀补号）R#2
G0X25Y10
G43H（长度刀补号）Z0
G01G41D（半径刀补号）X20F1000
Y0
G02X20Y0I-20
G01Y-10
G0Z50
```

当设定#1=接触半径时，则#2=[接触半径-小径半径]/tan（刀具刀尖角/2），程序如下。

```
G10L11P（长度刀补号）R-#2
G10L12P（半径刀补号）R#1
G0X25Y10
G43H（长度刀补号）Z0
G01G41D（半径刀补号）X20F1000
Y0
G02X20Y0I-20
G01Y-10
G0Z50
```

程序中，当零件斜面长度以Z向标注时，G10L11程序段中R为“-#1-斜面Z向长度”；当零件斜面长度以横向标注时，G10L12程序段中R为“+#1-斜面横向长度”。

### 5.2 西门子数控系统编程实例

当R1=Z向预设值时，则R2=R1tan（刀具刀尖角/2）+（小径半径），程序如下。

```
TC_DP12[刀具号，刀沿号]=-R1
TC_DP6[刀具号，刀沿号]=R2
G0X25Y10
Z0
G01G41D（半径刀补号）X20F1000
Y0
G02X20Y0I-20
G01Y-10
G0Z50
```

当R1=接触半径时，则R2=[R1-小径半径]/

tan（刀具刀尖角/2），程序如下。

```
TC_DP12[刀具号，刀沿号]=-R2
TC_DP6[刀具号，刀沿号]=R1
G0X25Y10
Z0
G01G41D（半径刀补号）X20F1000
Y0
G02X20Y0I-20
G01Y-10
G0Z50
```

程序中，当零件斜面长度以Z向标注时，TC\_DP12程序段中为“-R1-斜面Z向长度”；当零件斜面长度以横向标注时，TC\_DP6程序段中为“+R1-斜面横向长度”。

### 5.3 大隈数控系统编程实例

当VC1=Z向预设值时，则VC2=VC1tan（刀具刀尖角/2）+（小径半径），程序如下。

```
VTOFH[刀补号]=-VC1
VTOFD[刀补号]=VC2
G0X25Y10
G56Z0
G01G41D（半径刀补号）X20F1000
Y0
G02X20Y0I-20
G01Y-10
G0Z50
```

当VC1=接触半径时，则VC2=（VC1-小径半径）/tan（刀具刀尖角/2），程序如下。

```
VTOFH（刀补号）=-VC2
VTOFD（刀补号）=VC1
G0X25Y10
G56Z0
G01G41D（半径刀补号）X20F1000
Y0
G02X20Y0I-20
G01Y-10
G0Z50
```

程序中，当零件斜面长度以Z向标注时，VTOFH程序段中为“-VC1-斜面Z向长度”；当零件斜面长度以横向标注时，VTOFD程序段中为“+VC1-斜面横向长度”。

5.4 海德汉数控系统编程实例

当Q1=Z向预设值时，则 $Q2=Q1\tan(\text{刀具刀尖角}/2) + (\text{小径半径})$ ， $Q3=Q2 - \text{刀具半径}$ ，程序如下。

```
TOOL “刀具号/刀具名称” DL-Q1 DR Q3
L X25Y10 FMAX
L Z0 FMAX
L X20 RL F1000
L Y0
CC X0Y0
C X20Y0 R-
L Y-10
L Z50 FMAX
```

当Q1=接触半径时，则 $Q2=(VC1 - \text{小径半径}) / \tan(\text{刀具刀尖角}/2)$ ， $Q3=Q1 - \text{刀具半径}$ ，程序如下。

```
TOOL “刀具号/刀具名称” DL-Q2 DR Q3
```

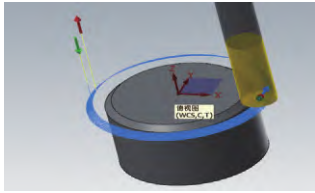
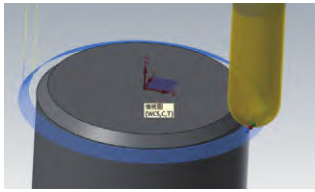
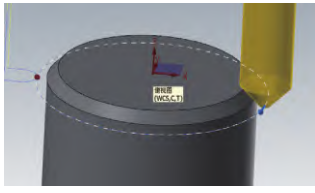
```
L X25Y10 FMAX
L Z0 FMAX
L X20 RL F1000
L Y0
CC X0Y0
C X20Y0 R-
L Y-10
L Z50 FMAX
```

程序中，当零件斜面长度以Z向标注时，DL为“-Q1-斜面Z向长度”；当零件斜面长度以横向标注时，DR为“+Q3-斜面横向长度”。

6 加工时间对比

3种加工方法轨迹示意及各参数对比见表5，可以看出用成形角度铣刀进行轮廓编程，所用加工时间更短且表面质量更好。

表5 3种加工方法轨迹示意及各参数对比

| 加工方法       | 轨迹示意                                                                                | 加工时间/min | 切削参数               |               |                     | 表面粗糙度值Ra/μm |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------|---------------|---------------------|-------------|
|            |                                                                                     |          | 切削速度 $v_c/(m/min)$ | 背吃刀量 $a_p/mm$ | 进给速度 $v_f/(mm/min)$ |             |
| 立铣刀分层编程    |  | 1.3      | 188                | 0.2           | 1500                | >6.3        |
| 球刀曲面编程     |  | 1.1      |                    | 0.22          | 1500                | 1.6~6.3     |
| 成形角度铣刀轮廓编程 |  | 0.15     |                    | 2             | 1000                | 0.8~3.2     |

7 结束语

成形角度铣刀的应用解决了立铣刀分层编程和球刀曲面编程中遇到的对操作人员的技能水平要求高、刀具寿命短和加工效率低等问题，通过采用科学的对刀和编程方法进一步缩短了生产准备时间，提高了生产效率。

参考文献：

[1] 任小萍. 典型零件斜面的铣削加工技巧[J]. 新技术新

工艺, 2014 (11) : 28-29.

[2] 刘晓维. 小直径倒角铣刀加工大直径孔倒角的计算[J]. 现代制造工程, 2004 (8) : 99.  
[3] 刘华华, 许颖, 雷波. 数控铣削中编程方法的应用与研究[J]. 机械工程与自动化, 2023 (1) : 195-197.

MW 20240612