

# 弧型旋转锉的2坐标数控加工

刘鸽然<sup>1</sup>, C.Y.Chan<sup>2</sup>, 徐志辉<sup>1</sup>, 于海忠<sup>1</sup>, 王武东<sup>1</sup>

(1.上海电机学院 机械工程系, 上海, 200240; 2.香港理工大学,香港)

摘要: 研究了加工特种回转面刀具的精确理论, 导出了工艺系统运动函数非线性方程组, 采用这种方法, 一条刀刃是用成型法加工, 另一条刀刃是按接触条件得到, 概念简单, 计算方便。

关键词: 弧形旋转锉; 数控; 加工

中图分类号: TG717

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0316(2004)10 - 0049 - 02

## Partial forming method of the NC machining of the rotary burs

LIU Gu-ran<sup>1</sup>, C.Y.Chan<sup>2</sup>, XU Zhi-hui<sup>1</sup>, YU Hai-zhong<sup>1</sup>, WANG Wu-dong<sup>1</sup>

(1.ShangHai College of Electricity & Machinery Technology, Shanghai 200240, China;

2.Hongkong polytechnic University, Hongkong, China)

Abstract: This paper researched the accurate method to machining the rotary burs, the theory is simple, and easy to calculate.

Key word: rotary burs; NC; machining

本文研究了MQ6025A轻型万能工具磨床的数控改造以及在其上加工特种回转面刀具的精确理论, 导出了工艺系统运动函数非线性方程组。本文所做的工作有: (1) 研究了按一般磨床的 $[x, \delta]$ 2坐标联动下加工的情形; (2) 对工具磨床进行简易的数控改造可实现半自动化的加工成形。这种加工方法是作者与高碑店市三元工具公司曹子辉先生共同提出的。为节省篇幅, 读者必须对有关文献很熟悉才能读懂。

### 1 弧型小铣刀的成形计算

如图1所示为经过简易改造了的MQ6025A轻型万能工具磨床, 可以实现 $\delta, \delta$ 两坐标联动, 其中 $\delta$ 为工件绕自身轴线的旋转,  $\delta$ 为工件绕铅垂轴在水平面内的回转,  $\delta$ 为砂轮摆放的倾斜角度。

加工特种回转面刀具共有 4 个坐标系:

(1) 固定坐标系  $O^{(0)} X^{(0)} Y^{(0)} Z^{(0)}$ : 该坐标系的  $X^{(0)}, Y^{(0)}$  轴分别沿工作台的横向和纵向移动方向, 原点设在工件端面的圆心。

(2) 与回转工作台固连的活动坐标系  $O' X'$

$Y' Z'$ : 原点  $O'$  与  $O^{(0)}$  重合,  $Z^{(1)}$  与  $Z$  重合,  $X'$  与  $X^{(0)}$  夹角为  $\delta$ 。

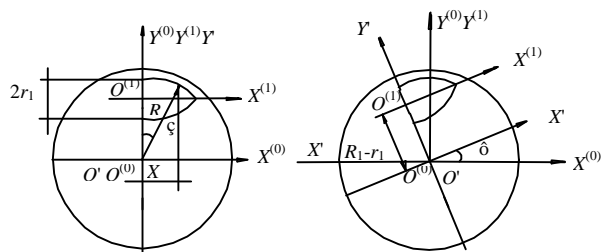


图1 经过改造的万能磨床

(3) 与工件辅助坐标系  $O^{(1)} X^{(1)} Y^{(1)} Z^{(1)}$ : 原点  $O^{(1)}$  与  $O^{(0)}$  距离  $R_1-r_1$ , 以便使弧型刀具的弧型母线的圆心与回转工作台的中心重合。  $X^{(1)}$  与  $X^{(0)}$  平行。

(4) 与工件固连的坐标系  $O^{(d)} X^{(d)} Y^{(d)} Z^{(d)}$ : 原点  $O^{(d)}$  与  $O^{(1)}$  重合,  $X^{(d)}$  与  $X^{(1)}$  重合, 在起始位置  $Y^{(d)} Z^{(d)}$  分别与  $Y^{(1)} Z^{(1)}$  重合,  $Y^{(d)} Z^{(d)}$  相对于  $Y^{(1)} Z^{(1)}$  的转角为  $\delta$ ,  $\delta$  是工件的转角。

(5) 砂轮坐标系  $O^{(s)} X^{(s)} Y^{(s)} Z^{(s)}$ : 原点  $O^{(s)}$  取砂轮底平面中心  $C$ , 该坐标只随砂轮中心移动。  $Y^{(s)}$  与  $Y^{(0)}$  轴平行,  $X^{(s)}$  轴与  $X^{(0)}$  轴夹成角度  $\delta/2 - \delta$ 。砂轮中心在固定坐标系中的坐标用  $X^{(c)} Y^{(c)} Z^{(c)}$  表示坐标

变换矩阵如式 (1) 和式 (2) 所示。

为便于成型, 规定在任意加工位置, 工件都应在水平面内回转至使该点所在的经线的切线与  $X^{(0)}$  轴平行, 即

$$\begin{bmatrix} X^{(0)} \\ Y^{(0)} \\ Z^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos t & -\sin t & 0 \\ \sin t & \cos t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos t & -\sin t & 0 \\ \sin t & \cos t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{(1)} \\ Y^{(1)} + R_1 - r_1 \\ Z^{(1)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\tan \delta = -dr_1/dx \quad (3)$$

由文献[1]和图 1, 得

$$dr_1/dx = x/\sqrt{R_1^2 - x^2} \quad (4)$$

$$x = R_1 \sin \zeta \quad (5)$$

代入上式:  $R_1 \sin \zeta / \sqrt{R_1^2 - R_1^2 \sin^2 \zeta} = \tan \delta = \tan \zeta$

$$\zeta = \delta \quad (6)$$

其次, 规定刀刃曲线 A 上任一点被加工时, 该点均应转到  $Z^{(0)}=0$  的平面内, 即刀刃曲线的偏转角  $\phi$  正好被工件的形成位置角  $\delta$  所弥补:

$$\phi + \delta = 0 \quad \delta = -\phi \quad (7)$$

由文献[1]坐标变换矩阵, 该点在坐标系  $X^{(0)}-Y^{(0)}-Z^{(0)}$  里的坐标:

$$\begin{aligned} X_A^{(1)} &= X_A & Y_A^{(1)} &= r_A & Z_A^{(1)} &= 0 \\ t_{Ax}^{(1)} &= 1 & t_{Ay}^{(1)} &= dr_A/dx & t_{Az}^{(1)} &= r_A d\phi/dx \end{aligned}$$

坐标变换矩阵:

$$t_{Ax}^{(0)} = 1/\cos \delta \quad t_{Ay}^{(0)} = 0 \quad t_{Az}^{(0)} = \tan \delta / \cos \delta$$

故  $t_A^{(0)} = (\cos \delta, 0, \sin \delta)$

由于砂轮底面应与刀刃线相切,  $n_A^{(0)} \cdot \mathbf{t}_A^{(0)} = 0$ ,  $\cos \delta \sin \delta - \sin \delta \cos \delta = 0$ , 故有:  $\delta = \hat{\delta}$  (8)

由于砂轮底面上与刀刃曲线 A 的接触点应有相同的坐标,

$$\begin{cases} X_C = X_A^{(0)} - R \sin \mathbf{q} \cos \Sigma \\ Y_C = Y_A^{(0)} + R \cos \mathbf{q} \\ Z_C = Z_A^{(0)} - R \sin \mathbf{q} \sin \Sigma \end{cases} \quad (9)$$

将式 (9) 中的 1、3 式消去  $R \sin \delta$ , 得:

$$X_C = X_A^{(0)} + Z_C / \tan \delta \quad (10)$$

由于安装时就使砂轮中心高于工件轴心一样,  $Z_C = 0$ , 故  $X_C = X_A^{(0)}$

$$\begin{aligned} X_A^{(0)} &= X^{(1)} \cos \delta - (Y^{(1)} + R_1 - r_1) \sin \delta \\ &= R_1 \sin \zeta \cos \delta - Y^{(1)} \sin \delta \\ &= R_1 \sin \zeta \cos \delta - R_1 \sin \delta \cos \zeta = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{(1)} \\ Y^{(1)} \\ Z^{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ R_1 - r_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{故 } X_c = 0 = \text{常数} \quad (11)$$

根据以上导出的一系列公式, 弧型旋转锉可采用如下简化方法加工:

在工具磨上增加一回转工作台, 弧型刀具的弧型母线的圆心安装得与回转工作台的中心重合, 用手摇动工作台的手柄, 按照式 (6) 和图 1, 转动的角度应使母线的切线与工作台 X 方向平行。由式 (7) 求对应的工件转角。

$$y = y(0) + \tan \delta \int_0^x \sqrt{1 + (dr/dx)^2} / r \quad (12)$$

而 x 由式 (5) 确定。ζ 与 δ 之间的非线性关系由一系列非圆齿轮传动实现。式 (8) 说明砂轮安装角应等于刀刃螺旋角。式 (11) 表示砂轮的圆心位置不变。这就是这种简化加工方法的正确性和精确性的理论基础和数学证明。

### 参考文献:

[1] 刘鹤然. 在 5 坐标数控磨床上特种回转面刀具的成型原理[J]. 应用科学学报, 1996, 1.

(上接第 34 页)

### 4 结束语

Pro/ENGINEER 中的阵列是一种高效的操作, 熟练地掌握阵列的技巧, 灵活地运用于实际, 将大大提高造型速度, 减少设计者的劳动量。

### 参考文献:

[1] 严烈. Pro/ENGINEER2001 高级应用与实例[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.  
 [2] 韩玉龙. Pro/ENGINEER 玩具造型设计[M]. 北京: 清华大学出版社 2004.  
 [3] 詹友刚. Pro/ENGINEER2001 教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.  
 [4] 林清安. Pro/ENGINEER2001 零件设计基础篇(上) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.