

·研究简报·

F23:131-135

斜刃特种回转面刀具的计算机仿真

Computer Simulation of a Special Cutting Tool with Rotary Side Surface and Inclined Blade

王永刚
Wang Yonggang

倪红松
Ni Hongsong

刘鹤然
Liu Huran

TG7

(重庆大学机械传动重点实验室, 重庆, 630044)

A

摘要 论述了带斜刃的特种回转面刀具的几何结构和生成原理。并在 Sunsparcstation 工作站上利用 I-DEAS 软件模拟了实际加工过程。

关键词 特种回转面刀具; 切削刃; 计算机仿真

中国图书资料分类法分类号 TP 391.72,73

ABSTRACT In the paper, the principle and geometrical structure this paper dealt with the principle are described of a specific cutting tool with rotary side surface and inclined blade. The practical machining process has been simulated on sunsparcstation. Some problems about the CAD of this kind of cutting tools have also been studied.

KEYWORDS rotary cutting tools; cutting blade; computer simulation

0 引 言

近几年,由于计算机技术的迅速发展,特别是高级图形工作站的出现使原来不能在计算机上进行的模拟加工现在可以了。发达国家,特别是美国在设计数控加工的一些特殊刀具时,都要在图形工作站上进行模拟加工,经过反复修改达到理论上的最佳轮廓,这样可在刀具设计上节约大量时间以达到降低设计成本和缩短设计周期的目的。为此,笔者在本文中详细地探讨了这种模拟加工的全过程。

1 斜刃特种回转面刀具的几何结构与生成原理

1.1 斜刃特种回转面刀具的几何结构

对于轮廓母线与回转轴有交点的特种刀具,刀齿必须延伸到回转轴线上,在交点附近应采用平面刀刃曲线,即过顶点的平面 P 与刀具回转面的交线。根据图 1 得出该曲线的方程为:

· 收文日期 1993-01-06

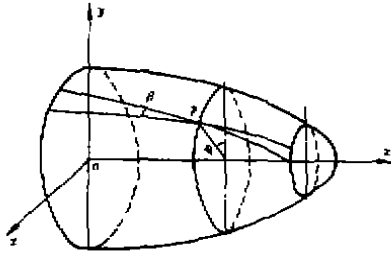


图 1 斜刃特种回转面
刀具的几何结构和生成原理

$$x_s = x_s; \quad y_s = r_s \cos \psi_s; \quad z_s = r_s \sin \psi_s \quad (1)$$

$$\psi_s = \arcsin \left(\frac{x_s}{r_s} \operatorname{tg} \beta_s \right) \quad (2)$$

刀刃切线矢量:

$$\begin{aligned} t_{px} &= 1; \\ t_{py} &= \frac{dr_s}{dz_s} \cos \psi_s - r_s \frac{d\psi_s}{dz_s} \cos \psi_s; \\ t_{pz} &= \frac{dr_s}{dz_s} \sin \psi_s + r_s \frac{d\psi_s}{dz_s} \cos \psi_s \end{aligned} \quad (3)$$

与之相邻的刀刃 B 的方程, 只需将 ψ_s 代之以 $(\psi_s + 2\pi/z)$ 即可。根据微分几何, 刀刃曲线上任意一点处的螺旋角:

$$\cos \beta = \frac{\left[1 + \left(\frac{dr}{dz} \right)^2 \right] \cos^2 \psi}{\left[\operatorname{tg}^2 \beta_s + \left(\frac{dr}{dz} \right)^2 - 2 \operatorname{tg} \beta_s \sin \psi \left(\frac{dr}{dz} \right) \cos^2 \psi \right]} \quad (4)$$

当 $\beta_s = 20^\circ$, 可在主要切削部位得到一个约 $10 \sim 25^\circ$ 的螺旋角。

2.2 坐标的设置

如图 2 所示, 砂轮主轴不倾斜, 而工作转轴向上倾斜一个仰角 $\Sigma = \beta_s$ 。

1) 以轮廓顶点 O 为坐标原点建立空间固定坐标系; $OXYZ$ 。 2) 辅助空间固定坐标系; $O'x'y'z'$, x' 为工件回转轴。 O' 与 O 重合, y' 与 Y 重合, x' 与 X 夹 $\Sigma = \beta_s$ 角。 3) 砂轮坐标系, 坐标原点在砂轮中心 C , x_c 平行于 Z , z_c 平行于 X 。坐标变换矩阵:

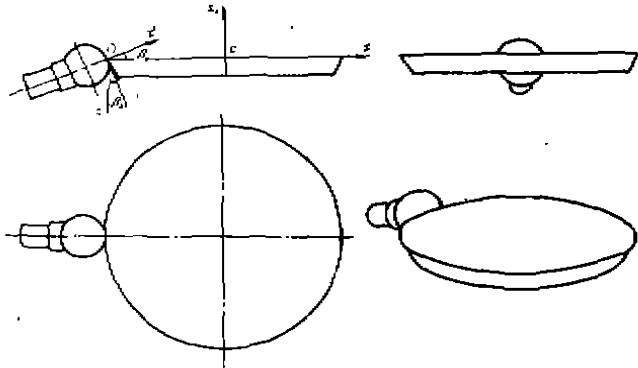


图 2 砂轮与工件主轴间的几何关系

$$M_{O'} = \begin{bmatrix} \sin \Sigma & 0 & \cos \Sigma & x_c & \cos \Sigma \\ 0 & 1 & 0 & y_c & \\ -\cos \Sigma & 0 & \sin \Sigma & z_c & \sin \Sigma \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.3 运动函数方程

砂轮锥面及法矢在 $O'x'y'z'$ 里表示为:

$$\begin{aligned} x_{MB'} &= -(R - r_{mb}) \operatorname{tg} \alpha_B \sin \Sigma + r_{mb} \sin \theta_s \cos \Sigma + x_c \cos \Sigma \\ y_{MB'} &= -r_{mb} \cos \theta_s + y_c \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} z_{MB'} &= (R - r_{mb}) \operatorname{tg} \alpha_B \cos \Sigma + r_{mb} \sin \theta_s \sin \Sigma + x_c \sin \Sigma \\ \vec{n}_{MB'} &= (-\cos \alpha_B \sin \Sigma + \sin \alpha_B \sin \theta_s \cos \Sigma, -\sin \alpha_B \cos \theta_s \cos \Sigma + \sin \alpha_B \sin \theta_s \sin \Sigma) \end{aligned} \quad (7)$$

由于砂轮锥面与工件 b 刀刃相切, 故: $\vec{n}_{n0} \cdot \vec{t}_{p0} = 0$

$$\frac{(\vec{t}_{p0} \sin \sum + \cos \sum) \sin \theta_0 - t_{py} \cos \theta_0 - (\sin \sum - t_{pz} \cos \sum)}{\operatorname{tg} \alpha_0} = 0 \quad (8)$$

由于锥面与 b 刀刃在切点有相同坐标, 故有:

$$\begin{aligned} x_c \cos \sum &= x_p + (R - r_m) \operatorname{tg} \alpha_0 \sin \sum - r_m \sin \beta_0 \cos \sum \\ y_c &= r_p \cos(\psi_0 + 2\pi/2) + r_m \cos \theta_0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$x_c \sin \sum = r_p \sin(\psi_0 + 2\pi/z) - (R - r_m) \operatorname{tg} \alpha_0 \cos \sum - r_m \sin \theta_0 \sin \sum$$

在(8)(9)等四个方程中共有 $x_p, r_m, \theta_0, x_c, y_c$ 等五个未知量, 其中一个未知量可预先给定, 故方程组有解。解运动函数方程时; 依次给定一系列 x_p 代表一有加工过程中的某一加工位置, 计算 $\psi_0, r_p, dr_p / dx_0, \frac{d\psi_0}{dx_0}, t_{py}, t_{pz}$, 再由(8)式求解 θ_0 , 在(9)式的 1,3 两式中消去 x_c , 并整理

得:
$$r_m = R - [r_p \sin(\psi_0 + \pi/2) \cos \sum - x_p \sin \sum] \operatorname{ctg} \alpha_0 \quad (10)$$

最后由(9)式的 1,2 两式求出 x_c, y_c 便得到该瞬时砂轮中心位置。

2.4 算例

球形回转刀具主要参数:

齿数 $Z = 20$ 直径 $d = 12 \text{ mm}$ 刃长 $L = 10.8 \text{ mm}$ $\beta = 20^\circ$

砂轮主要参数: 砂轮直径 $D = 80 \text{ mm}$ $\alpha_0 = 60^\circ$

经编程计算, 砂轮中心运动轨迹如表:

$XP =$	$CT =$	$XC =$	$XC * \cos \sum$	$XC * \sin \sum$	$YC =$
- 0.041	- 79.070	39.188	36.825	13.403	8.254
- 0.183	- 72.057	37.803	35.523	12.929	13.634
- 0.365	- 65.221	35.829	33.668	12.254	18.681
- 0.644	- 58.569	33.340	31.329	11.403	23.341
- 0.996	- 52.099	30.411	28.577	10.401	27.577
- 1.418	- 45.804	27.111	25.476	9.272	31.366
- 1.903	- 39.671	23.504	22.087	8.039	34.699
- 2.446	- 33.680	19.645	18.480	6.719	37.573
- 3.039	- 27.808	15.579	14.639	5.328	39.991
- 3.675	- 22.028	11.342	10.658	3.879	41.959
- 4.347	- 16.306	6.964	6.544	2.382	43.481
- 5.045	- 10.807	2.465	2.316	0.843	44.557
- 5.761	- 4.887	- 2.140	- 2.011	- 0.732	45.184
- 6.485	0.901	- 6.842	- 6.429	- 2.340	45.347
- 7.208	6.818	- 11.636	- 10.935	- 3.980	45.024
- 7.922	12.936	- 16.524	- 15.528	- 5.652	44.173
- 8.616	19.355	- 21.513	- 20.215	- 7.358	42.729
- 9.283	26.225	- 26.619	- 25.014	- 9.104	40.584
- 9.914	33.795	- 31.885	- 29.982	- 10.905	37.543
- 10.500	42.592	- 37.413	- 35.157	- 12.796	33.194

3 特种回转面刀具的计算机仿真

3.1 计算机仿真

砂轮与工件的相对运动轨迹一般是复杂的运动,只有用数控装置才能实现。为了验证理论推导和计算的正确性,我们先对工件与砂轮的几何模型进行了计算机仿真。为了充分利用国内外在计算机图形学和 CAD 方面的最新成就,我们在 Sunsparc 工作站上对引进的 I-DEAS 软件进行了应用开发,第一次将计算机造型应用于特种回转面刀具的加工。

I-DEAS 软件系统主要包括五个家族:1) 实体建模;2) 工程绘图;3) 工程分析;4) 系统动态分析;5) 实验数据分析。本文的研究涉及其中两个家族:实体建模(Solid Modeling)和工程绘图(Drafting)。先按工件毛坯的外形和砂轮的形状,分别将其几何体用实体建模(Solid Modeling)造出,并暂存起来,然后给出工件与砂轮的相对运动,并在每个运动位置进行布尔代数的“交、并、差”运算。砂轮对工件的切削相当于“差”运算。当砂轮相对于工件依次走过全部运动位置,便形成了所要求的工件齿廓。具体生成过程中,先用手工操作,令砂轮和工件按

要求的运动轨迹走若干步,事先建立起一个 Program 文件将自己的操作步骤记录下来。在加工斜刃特种刀具时,工件与砂轮之间切割一次所对应的一段 I-DEAS 程序如下:

回到主菜单——取出暂存的砂轮——重新定位——平移——给出位移量——再暂存——布尔运算——切割——给定切削者与被切割者——将切削后工件暂存。

在运行以上这段程序的过程中,可从屏幕上清晰地依次看到工件的原始形状;砂轮的初始位置;砂轮相对于工件的位移;砂轮对工件作切削;切削刀痕形状和大小;切削后的工件。然后在计算砂轮轨迹的 Fortran 程序中完全按 I-DEAS 的程序格式,每计算一个位移量使生成一段如上述所示程序,从而在计算机上模拟工件与砂轮在整个加工过程中的切削作用。

3.2 对计算模拟结果的分析

加工出一条刀槽后的工件如图3所示,可明显看出每个加工位置的接触刀痕为直线。砂

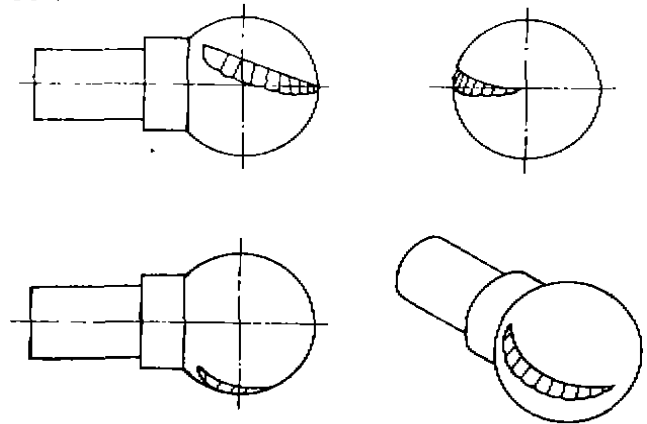


图 3 工件刀痕

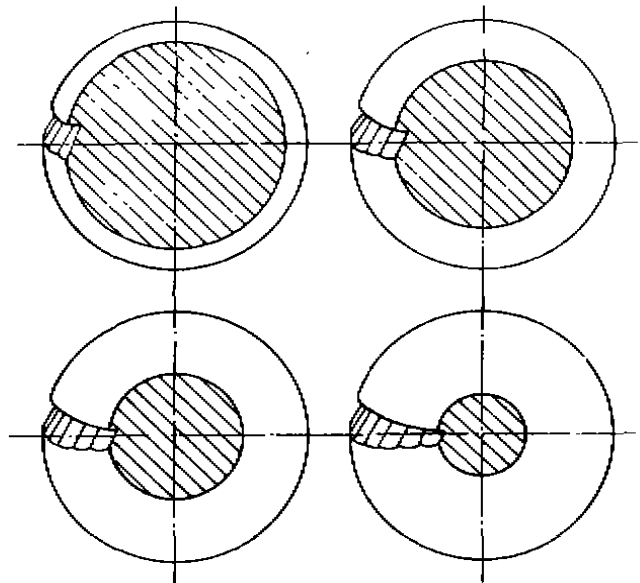


图 4 工件刀痕某个截面轮廓

圆锥面与刀具后刀面的瞬时接触线是锥面上 θ_1 二常数的一条母线。可以证明,当工具母面为可展曲面,工具母面与工件之间的相对运动为平移时,任一瞬时接触线为工具母面的一条直母线。

证明,由于工具母面为可展曲面,必为直纹面,且沿任一直线曲面有相同法矢。如直母线上某一点 M 满足啮合方程

$$\vec{n}_M \cdot \vec{v}^{(12)} = 0$$

该直母线上所有点法矢也为 $\vec{n} = \vec{n}_M$ 。又由于它们的相对运动为平移,各点相对运动速度均为 $\vec{v}^{(12)}$,故该母线上任一点满足

$$\vec{n} \cdot \vec{v}^{(12)} = 0$$

证毕。计算机模拟证实了这一结论。

其次,对加工后刀槽放大观察,可见刀刃线有一系列锯齿状(图4),这是由于实际工件和砂轮表面在计算机里都是用小平面(Facet)趋近法形成的,而不是真正球面和锥面。小平面越多则越精确,但计算量增大。一般工件取小平面数为40,砂轮比工件尺寸大很多,则取80左右,这样能取得较好的模拟效果。

再其次,由于按本文提出的异形刀具成形理论,刀具的前后刀面是在一次走刀中形成的,故刀槽两侧刀刃线可通过旋转一分度解 $2\pi/Z$ rad 而互相重合,因而可用一个很简便的方法来验证加工方法的正确性,后刀面刀刃在转动 $2\pi/Z$ rad 后,从主、侧视图看,均应为直线,如图5所示。

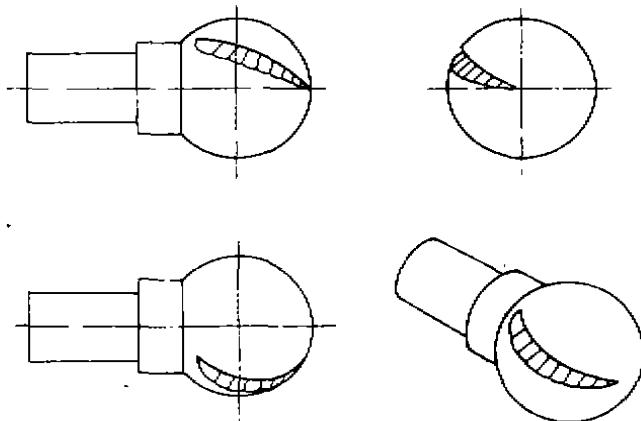


图5 实际刀痕与理论的误差

4 结 论

由以上分析可得出如下结论:

- 1) 本文提出的斜刃特种回转面刀具生成原理是正确的,工艺系统只需两坐标数控。
- 2) 采用计算机模拟刀具生成过程可以事先验证理论分析和计算结果。
- 3) 可事先检查刀槽轮廓及前角是否符合要求。
- 4) 可预先发现由于刀具与砂轮参数不对而造成对刀杆干涉及其它问题,而避免之。

参 考 文 献

- 1 俞长高,蒋锡藩编. 机械制造中的计算机辅助设计. 北京:机械工业出版社,1988
- 2 张锡安,郝永平,吴连生编著. 机械CAD基础与应用. 北京:兵器工业出版社,1990
- 3 刘昌祺,臧销海,刘执中编著. CAD/CAM/CAE基础. 北京:机械工业出版社,1991