

## 曲面密切加工法的残余高度计算

刘鹄然,刘全红

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

**摘要:** 工程中有很多复杂柱面,5坐标加工可高效达到所需形状。运用相关文献已阐述的切触原理,研究了在多轴数控机床中刀具切削圆与零件柱面的切触条件和局部坐标系下的局部最佳接触条件,并用投影对刀具切削圆与柱面的贴近程度进行了分析,进而提出一种可通过求解相邻2个加工位置之间的交点求残余高度的方法。通过人为放大加工间隙并打印出来,以验证算法的正确性,再通过3坐标测量检测试件残余高度。结果表明,理论计算与实际检测完全符合。

**关键词:** 数控加工;柱面加工;切触

**中图分类号:** TG659

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2014)01-0019-04

## Residual calculation of surface with close processing method

LIU Huran, LIU Quanhong

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of  
Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** There are many complex engineering cylinder. To these, 5-axis machining can efficiently achieve the desired shape. By employing the relevant literature and principle, we research the local contact conditions between the tool and the surface to be machined. The optimum contact condition between the cutting circle of cutter and the cylindrical part of the work to be cut is also studied. The multi-axis CNC machine tools and local coordinate system are used in this application. The projection of the cutting tool with a circle and cylinder and the degree of closeness is analyzed, by a method of solving the machining position adjacent to the intersection between the two residual demand allowances. Machining gap is artificially enlarged and printed out to verify the algorithm is correct. Then processing margin of the test specimen is detected by the three coordinate measuring. The result shows that theoretical calculation coincides with actual testing.

**Key words:** numerical control machining; cylindrical surface machining; contact

---

**收稿日期:** 2013-10-23

**作者简介:** 刘鹄然(1953— ),男,江西省南城人,教授,博士,主要从事机械传动研究。

曲面的数控加工是汽轮机、流体机械、风动机械、叶轮机械的叶片和各种模具模腔,如汽车外壳和高速机车流线形车体等精密加工的必备工艺。随着国民经济的飞速发展,这种需求有大幅度上升的趋势<sup>[1-3]</sup>。如何提高其加工效率、加工精度和降低成本已成为机械工业面临的一个突出问题,并已列入国家自然科学基金指南(智能制造)和鼓励研究领域(超精密加工基础)。因此,探讨曲面的数控加工技术,具有重大的理论价值。本研究探讨了能精确描述曲面形状和性质、能展开到较高阶数的曲面高阶分析方法;突破了五坐标数控只能达到 2 阶接触的瓶颈,建立了可以实现 4 阶及以上切触的密切加工理论<sup>[4-6]</sup>。

## 1 刀的边缘坐标在欧拉坐标系下的表示

根据文献[7-8]和参考图 1, 刀的边缘坐标在欧拉坐标系下的表示:

$$\begin{cases} X = R \cos \varphi \sin \psi \cos \theta - R \sin \varphi \sin \theta + X_c \\ Z = -R \sin \psi \cos \theta + Z_c \end{cases} \quad (1)$$

对于加工点  $i$ :

$$\begin{cases} X_i = R \cos \varphi_i \cos \psi_i \cos \theta_i - R \sin \varphi_i \sin \theta_i + X_{c_i} \\ Z_i = -R \sin \psi_i \cos \theta_i + Z_{c_i} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: $\varphi_i, \psi_i, X_{c_i}, Z_{c_i}$ —固定值; $\theta_i$ —自变量; $X_i, Z_i$ —因变量。

对于旁边的加工点  $i+1$ :

$$\begin{cases} X_{i+1} = R \cos \varphi_{i+1} \cos \psi_{i+1} \cos \theta_{i+1} - R \sin \varphi_{i+1} \sin \theta_{i+1} + X_{c_{i+1}} \\ Z_{i+1} = -R \sin \psi_{i+1} \cos \theta_{i+1} + Z_{c_{i+1}} \end{cases} \quad (3)$$

求两抛物曲线的交点(图 1):

$$\begin{cases} X_{i+1} = X_i \\ Z_{i+1} = Z_i \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} -R \sin \psi_i \cos \theta_i + Z_{c_i} = -R \sin \psi_{i+1} \cos \theta_{i+1} + Z_{c_{i+1}} \\ R \cos \varphi_i \cos \psi_i \cos \theta_i - R \sin \varphi_i \sin \theta_i + X_{c_i} = R \cos \varphi_{i+1} \cos \psi_{i+1} \cos \theta_{i+1} - R \sin \varphi_{i+1} \sin \theta_{i+1} + X_{c_{i+1}} \end{cases} \quad (5)$$

由式(4)和式(5)求解  $\theta_i, \theta_{i+1}$  这 2 个未知数,再代入式(1)、式(2)和式(3)方程中,可得凸起部分坐标  $X_i, Z_i$ 。

## 2 计算验证

以椭圆曲面为例,加工椭圆曲面的参数:刀具半径  $r=20$  mm,长轴  $A=50$  mm,短轴  $C=40$  mm。为了验证计算是否正确,椭圆曲面残余高度故意加大计算,见图 2。

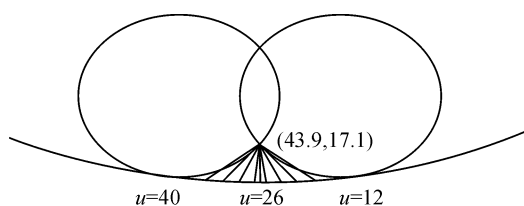


图 1 理论计算的图形说明

Fig. 1 Graphical representation for theoretic calculation

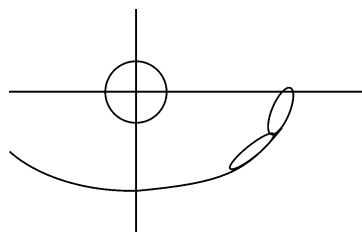


图 2 故意扩大的残余高度

Fig. 2 Enlarged gap

残余高度故意加大的 VB 程序流程图如图 3 所示。

计算最大残余高度的 VB 程序:

```
Private Sub Command1_Click()
Open "C:\Myfile3.dat" For Output As 3
dist0=1000
xx=43.96
yy=-17.19
A=50
C=40
r=10
For u=12 To 40 Step 1
x=A * Cos(u * 3.1415926 / 180)
y=-C * Sin(u * 3.1415926 / 180)
dist = (x - xx) ^ 2 + (y - yy) ^ 2
Print #3, u, x, -y, Sqr(dist)
If dist < dist0 Then
dist0=dist
u0=u
x0=x
y0=y
End If
Next u
Print #3, u0, x0, -y0, Sqr(dist0)
Close #3
End Sub
```

计算结果见图 4。计算所得残余高度为 0.04 mm。

三坐标测量机检测被加工椭圆曲面如图 5~6 所示。

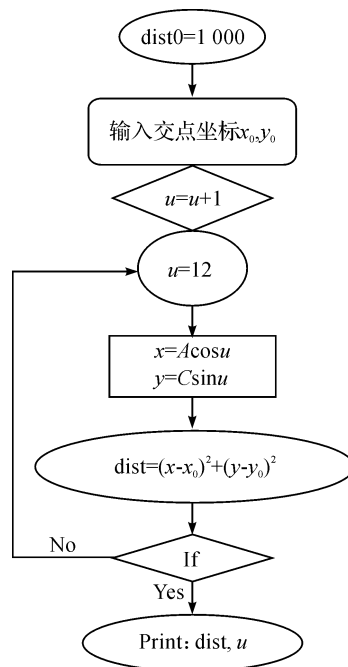


图 3 计算流程图

Fig. 3 Flow chart of calculation

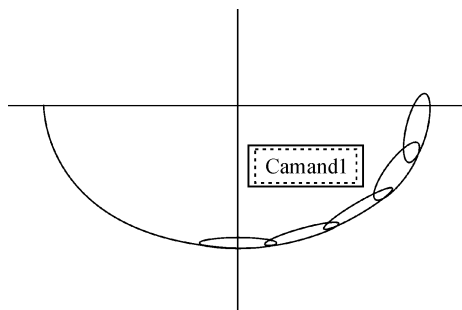


图 4 计算残余高度的显示

Fig. 4 Calculated gap



图 5 三坐标测量机

Fig. 5 Three-dimensional measuring machine

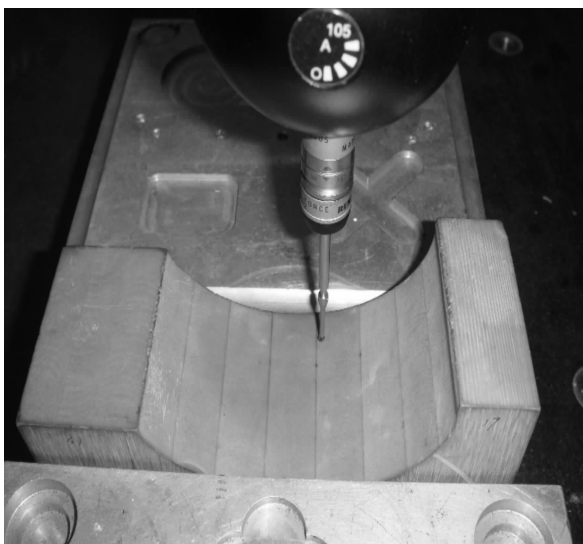


图 6 检测椭圆槽精度

Fig. 6 Accuracy measurement for oval groove

经过三坐标测量机多次测量,得出 5 坐标椭圆柱面残余高度在 0.05 mm 以内,可见五坐标加工精度比较高。

### 3 结 语

采用本文中的新方法比 UG 等国外软件更优越,提高加工效率 30 余倍。该方法走刀 9 次,余量 0.04 mm;UG 走刀 40~50 次,UG 余量 0.1 mm。提出的这种方法可通过求解相邻 2 个加工位置之间的交点求残余加工余量。先通过人为放大加工间隙并打印出来,验证算法的正确性,再通过 3 坐标测量检测试件残余高度,实际检测结果与理论计算完全符合。

#### 参考文献:

- [1] Liu H R. The extreme efficiency of the new model in Milling of complicated surfaces[J]. International Journal of Advanced Manufacture Technology, 2013, 67(12): 2765-2770.
- [2] Liu H R, Liu Q H, Zhao D F, et al. A theoretical basis for the analysis of logix gears[J]. Transaction of Canada mechanical Engineering, 2006(4): 511-517.
- [3] Liu H R. A New kind of spherical gear and its application in a robot's wrist joint[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009(6): 94-98.
- [4] Liu H R, Lee H B, Yuan W H. Contact deformation and precontrol of transmission properties of point conjugate gear [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2000, 13(1): 76-80.
- [5] Liu H R. Third-order local contact and application in 5-axis machining of sculptured surfaces[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 19(2): 265-267.
- [6] 刘鹤然,袁文辉,李源君.高速机车流线型复杂曲面加工的 3 阶切触原理[J].铁道学报,2000,22(4):99-102.
- [7] 何兆太,刘鹤然,面与面切触与复杂曲面加工[J].兵工学报,2002,23(3):377-379.
- [8] 丁汉,朱利民.复杂曲面数字化制造的几何理论和方法[M].北京:科学出版社,2001.

## 启 事

为适应我国信息化建设的需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》《中国期刊网》全文数据库和《万方数据——数字化期刊群》《中文科技期刊数据库》《中国科技论文在线》《台湾华艺 CEPS 中文电子期刊》等,并被俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《化学文摘》(CA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、美国《乌利希国际期刊指南》、波兰《哥白尼索引》(IC)和中国《电子科技文摘》收录,作者著作权使用费随本刊稿酬一次性给付。如果作者不同意将文章编入有关数据库,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。