

# 五坐标数控加工局部过切

宋学谦<sup>1</sup> C.Y.Chen<sup>2</sup> 刘鹤然<sup>3</sup>

(1. 郑州轻工学院机械系, 郑州 450002 2. 香港现工大学 3. 中南大学, 湖南长沙 410075)

[摘要] 在五坐标数控加工中, 不可避免会发生干涉现象, 在数控编程时需要特别注意刀具的几何形状, 被加工表面的复杂程度, 和工作行程等要素。

[关键词] 曲面; 数控加工; 过切

[中图分类号] JTG659

[文献标识码] B

[文章编号] 1003-5451(2003)05-0041-03

## 1 概述

在空间自由曲面的数控加工中, 由于计算刀具位置点方法和不正确, 对数控机床的性能和结构缺乏必要的了解, 当然最主要的是在数控编程时考虑问题的不全面, 往往会导致刀具、被加工零件、机床之间发生干涉<sup>[1]</sup>。干涉通常有以下三种表现形式: 过切干涉, 碰撞干涉及超程干涉。

过切干涉: 刀刃在被加工表面切除了不该切除的材料。

碰撞干涉: 刀杆(刀具的非切削刃)与被加工表面发生碰撞。

超程干涉: 刀具位置点的坐标和相位角超出数控机床的工作行程。由于机床的具体情况各不相同, 我们并不讨论超程干涉。

其中刀具过切干涉分为两种类型:

①曲率干涉: 当刀具接触点处的曲率半径小于刀具的实际切削半径时, 所导致的过切现象为曲率干涉。即局部过切。

②除刀具接触点外, 所发生的刀刃过切被加工表面的行为称为曲面干涉。

曲率干涉将破坏被加工表面的二阶连续性, 而曲率的连续性影响曲面的光顺性。在光照条件下, 被加工表面的反射光会在曲率间断处产生歧变, 极大的影响曲面外表的美观。这在外观表面质量要求较严格的轿车等模具制造中是决不允许发生的。因此在空间自由曲面的加工中, 必须对局部过切给予

消除。

在五坐标的数控切削加工中, 避免可能会发生的干涉现象, 在数控编程时需要特别注意刀具的几何形状, 被加工表面的复杂程度, 数控机床的动力头的外形尺寸和工作行程等要素。

## 2 局部过切出现的条件

在此我们讨论局部过切出现的条件, 在 $\hat{x}_\alpha$ 方向上, 当刀具切削圆的扫描曲面小于零件曲面的曲率时, 便出现局部过切, 即在 $\hat{x}_\alpha$ 方向上有 $k_{eff}\alpha < k_\alpha$ 。在接触点, 即使只有一个方向出现局部过切出现的条件, 在该点就出现了局部过切。出现了局部过切的条件为:

$$f(\alpha) = k_{eff}\alpha - k_\alpha \\ = \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \omega} \left[ \frac{\sin \lambda}{r} - \frac{k_{max} - k_{min}}{2} \sin 2\beta \sin 2\omega \right. \\ \left. - k_0 \sin^2 \omega \right] - k \frac{\pi}{2} \sin^2 \alpha \quad (1)$$

当发生局部过切时, 对于任一的角 $\alpha$   $f(\alpha) < 0$ , 由上式可以看出, 满足下式时, 会发生局部过切

$$\frac{1}{\cos 2\omega} \left[ \frac{\sin \lambda}{r} - \frac{k_{max} - k_{min}}{2} \sin 2\beta \sin \omega - k_0 \sin^2 \omega \right] < k \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

因为 $\sin^2 \alpha \geq 0$ , 所以式(2)为局部过切出现的条件。

注意到等式的左边为刀具扫描截面的曲率  $k_{eff \frac{\pi}{2}}$  ,则

式(2)可进一步简化为式(3):

$$k_{eff \frac{\pi}{2}} < k_{\frac{\pi}{2}} \quad (3)$$

因此局部过切出现的条件可总结为式(3)所出现的情况,由式(3)可以看出,在  $\hat{x}_{\frac{\pi}{2}}$  方向上刀具切削

圆扫描曲面的曲率小于零件曲面的曲率时,局部过切就会发生。式(3)可重新整理为式(4),

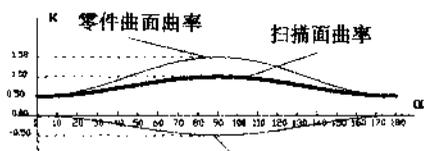
$$g(\sin\omega, \text{tg}\lambda) = \frac{\sin\lambda}{r} (1 + \text{tg}^2\omega) - k_{\max} (\text{tg}\omega \sin\beta + \cos\beta)^2 - k_{\min} (\text{tg}\omega \cos\beta - \sin\beta)^2 < 0 \quad (4)$$

上式表明,当零件曲面的主曲率均为负数时,局部过切就不会发生,因此对于局部凸曲面不会发生局部过切,因为其所有项均为正。在  $\hat{x}_{\frac{\pi}{2}}$  方向上对

于局部过切的检查,可以推广到任一方向  $\hat{x}_{\alpha}$  上的曲率检查。因此式(4)为局部过切出现的充要条件。因此通过在刀具接触点调整刀具方向,使之避免出现局部过切。图1~图5为刀具方向角不一样时的局部过切情况。

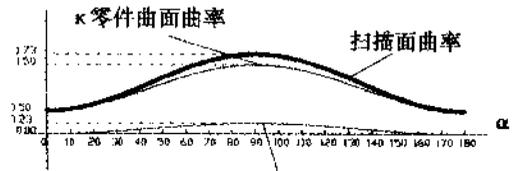
图1、图2和图3分别为局部凹曲面通过改变刀具的后跟角  $\lambda$  及倾斜角  $\omega$ ,使刀具扫描曲面与零件曲面避免发生过切。图1为  $\lambda=30^\circ$  时出现了过切。图2通过调整后跟角  $\lambda$  使  $\lambda=60^\circ$  消除过切,图3通过调整使  $\omega=40^\circ$  消除过切。图4、图5和图6分别为局部鞍形曲面通过改变刀具的后跟角  $\lambda$  及倾斜角  $\omega$ ,使得刀具扫描曲面与零件曲面避免发生过切。图4为  $\lambda=30^\circ$  出现了过切,图5通过调整使  $\lambda=60^\circ$  消除了过切。图6通过调整使  $\omega=40^\circ$  消除过切。

$$r=0.5 \quad \kappa_{\max}=1.5 \quad \lambda=30^\circ \quad \kappa_{\min}=0.5 \quad \omega=0^\circ \quad \beta=0^\circ$$



扫描面零件曲面曲率差  
图1 局部凹曲面发生过切

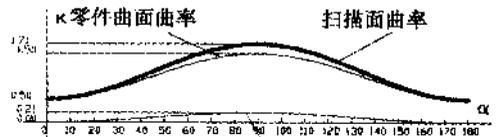
$$r=0.5 \quad \kappa_{\max}=1.5 \quad \lambda=60^\circ \quad \kappa_{\min}=0.5 \quad \omega=0^\circ \quad \beta=0^\circ$$



扫描面零件曲面曲率差

图2 调整消除过切

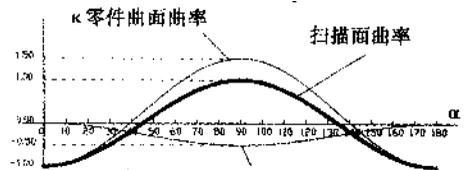
$$r=0.5 \quad \kappa_{\max}=1.5 \quad \lambda=30^\circ \quad \kappa_{\min}=0.5 \quad \omega=50^\circ \quad \beta=0^\circ$$



扫描面零件曲面曲率差

图3 调整消除过切

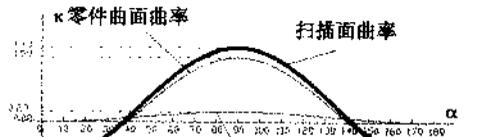
$$r=0.5 \quad \kappa_{\max}=1.5 \quad \lambda=30^\circ \quad \kappa_{\min}=0.5 \quad \omega=0^\circ \quad \beta=0^\circ$$



扫描面零件曲面曲率差

图4 局部鞍形曲面发生过切

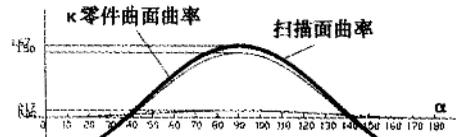
$$r=0.5 \quad \kappa_{\max}=1.5 \quad \lambda=60^\circ \quad \kappa_{\min}=0.5 \quad \omega=30^\circ \quad \beta=0^\circ$$



扫描面零件曲面曲率差

图5 调整消除过切

$$r=0.5 \quad \kappa_{\max}=1.5 \quad \lambda=30^\circ \quad \kappa_{\min}=0.5 \quad \omega=30^\circ \quad \beta=0^\circ$$



扫描面零件曲面曲率差

图6 调整消除过切

### 3 局部过切的避免

在这里,我们讨论了在曲面上给定接触点局部

过切的防止问题,给出了基于调整刀具方向控制的避免方案,对于局部过切的避免只要对式(4)作一个反向变换就可以了,如式(5)所示.

$$g(\sin\lambda, \cos\omega) = k \frac{\sin\lambda}{\cos\omega} \geq k \frac{\sin\frac{\pi}{2}}{\cos\frac{\pi}{2}} \quad (6)$$

然而满足式(6)的角 $\omega$ 、 $\lambda$ 的值却存在不确定性。因而选择刀具方向角的近似值就变得比较困难了,因此选择一个决定刀具方向角的系统方法就比较重要,我们称满足式(6)的角 $\omega$ 、 $\lambda$ 为可行方向角。通过系统的改变 $\omega$ 与 $\lambda$ ,使得刀具路径程序能成功的得到这些可行方向角,刀具路径程序也同时确保对零件毛坯进行最大的材料切除。而最大的材料切除是与刀具的方向角有关的。因此获得最大的材料切除所在方向角是我们所关注的问题之一,此方向角为最优方向角。别的问题如行过切,刀具与零件

曲面无碰撞等。在此我们仅考虑局部过切。

参考文献:

- [1] Xiong-Wei Liu. Five-axis NC cylindrical milling of sculptured surfaces[J]. Computer-Aided Design. 1992,24(2): 667-676
- [2] Cox,J.J. Space-filling curves in tool-path applications.[J]. Computer-Aided Design,1994,26(3),215-224
- [3] Lee,Yuan-shin, Non-isoperimetric tool path planning by machining strip evaluation for 5-axis sculptured surface machining[J]. Computer-Aided Design,1998.30(7)559-570

作者简介:宋学谦(1961-),讲师,郑州轻工学院机械系。

(收稿日期 2002-08-13)