

# 基于刀具沿进给方向蠕动式进给的 数控加工技术研究

孙业荣, 姚斌, 度文明

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:**通过对数控加工中存在的问题分析,提出了一种在数控加工中,刀具在被加工工件曲面上沿进给方向蠕动式切削加工的方法,通过刀具与工件时续分离和切削,改善了工艺系统的刚性,从而使工件的加工精度得到改善,并具体从被加工工件的几何形状、切削过程中刀具受力情况及切削区的切削热释放情况方面,分析了采用该方法对加工精度的改善情况。

**关键词:**数控加工;走刀步长;加工精度

中图分类号:TH114

文献标识码:A

文章编号:1006-0316(2005)08-0038-03

## Research on NC machining technology based on cutting tool creep-feed in feed direction

SUN Ye-rong, YAO Bin, DU Wen-ming

(Department of Mechanical and Electronical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005 China)

**Abstract:** Based on analyzing problems that general NC machining process exists, this paper proposes a machining method cutting tool creep-feed machining work piece in feed direction. When cutter is fed toward and away from work piece, it can improve the rigidity of mechanics system, so that machining precision is improved. Other advantages of this process include a superior surface finish, low tool pressure, and cutting heat released easily in the cutting section.

**Key words:** Numerical control machining; Stepping over distance; Machining precision

在常规的数控加工中,走刀步长短,意味着加工精度高,但会带来刀具轨迹线上刀位数据的密度大,程序指令冗长,更重要的是在一般加工方式下,对一般运动精度的机床而言,小步长程序指令的执行会产生进给速度波动和平均速度下降,从而影响加工效率和表面质量;反之,走刀步长,意味着刀具轨迹线上刀位数据的密度小,加工效率高,但轮廓逼近精度降低,一阶不连续性使工件表面完整性恶化,后续处理工作量加大,整体效率降低<sup>[1]</sup>。在常规的数控加工中,如果机床的运动副精度很高,刀具在被加工曲面上始终朝着所给的进给方向运动,势必带来以下两个问题:一方面,由于在加工过程中,刀具在受到切削力的作用下,始终引起刀具主轴产生扭曲变形和弯曲变形及工件的刚性(较薄零件)变形;另一方面,在切削过程中,刀具与工件接触

区产生的切削热不易释放出去,易造成被加工工件和机床的热变形,进而影响了工件精度和表面的完整性。针对以上存在的问题,我们研究了一种刀具加工工件时沿进给方向蠕动进退的运动方式来加工曲面,这种一进一退的蠕动切削加工有利于以上问题的解决<sup>[2]</sup>。下面具体介绍蠕动切削加工的原理及其对加工精度的影响。

### 1 蠕动切削加工原理和数学模型

以五轴加工来说明,前提是机床的运动副精度高。当球头刀沿被加工面上作直线插补运动时,取被加工曲面上3个点,其坐标为  $P_i(X_i, Y_i, Z_i, A_i, B_i)$ ,  $P_{i+1}(X_{i+1}, Y_{i+1}, Z_{i+1}, A_{i+1}, B_{i+1})$  和  $P_{i+2}(X_{i+2}, Y_{i+2}, Z_{i+2}, A_{i+2}, B_{i+2})$ , 如图1所示,其中点  $P_i$  至  $P_{i+2}$  点之间的距离

等于一次走刀步长  $L$ ，则蠕动切削加工原理为：按照蠕动进退的运动方式，刀具从加工点  $P_i$  沿走刀方向走刀一个步长到达点  $P_{i+2}$  后，再从点  $P_{i+2}$  沿走刀相反的方向回退到  $P_{i+1}$  点，加工刀具就这样一前一退地蠕动式加工曲面，称之为蠕动式切削加工。其中，三点之间坐标关系为：

$$P_{i+1} = P_i + k(P_{i+2} - P_i) \quad (0 \leq k \leq 1)$$

式中： $k$  为系数， $0 \leq k \leq 1$  取值大小根据被加工曲面的加工精度要求和材料性能确定； $P$  代表为  $X, Y, Z, A, B$  运动轴参数。

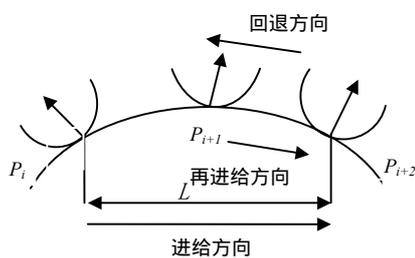


图 1 球形刀五坐标蠕动切削加工模型

## 2 加工精度的分析

走刀步长的计算：由于多坐标数控加工（指三、四、五坐标数控加工）一般只采用线性插补，因而，刀具运动的包络面与加工表面存在一定的逼近误差，在凹凸曲面上分别表现为欠切、过切现象，所以，对任一指定的直线逼近误差极限  $\varepsilon$ ，根据文献 [3]，可以确定走刀步长  $L$  的计算公式：

$$L \leq 2\sqrt{\frac{2\varepsilon}{|k_f|}}$$

式中： $k_f$  为加工表面的法曲率。

以下着重分析采用蠕动切削加工方式加工凹、凸曲面时，对加工精度的影响。主要从几何、受力和切削热散失方面进行分析。

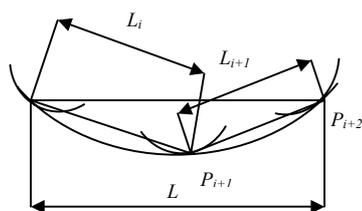


图 2 刀具蠕动切削加工凹曲面

第一种情况：被加工曲面为凹曲面。根据蠕动

切削加工原理，从考虑加工精度角度去分析该种加工方法的特点并得出以下结论。几何精度分析：由图 2 所示可知，刀具在回退的过程中，也进行了切削加工，切削的部分主要是：刀具在进给的过程中所形成的欠切部分。设  $L_i$  等于  $L'$ ，在三角形  $\triangle P_i P_{i+1} P_{i+2}$  中， $P_i P_{i+1} < P_i P_{i+2}$ ，即： $L' < L$ ，由文献 3 可知： $\delta'_i < \delta_{i0}$ 。即：减少了被加工曲面的欠切部分，降低了加工误差，提高了加工精度。另外，走刀步长可以不必严格按照式（1）来确定，可以加大走刀步长，只要保证  $L_i$  满足上式即可。受力分析：如图 3 所示，按照文献 4 的分析，设  $f$  方向为进给方向， $f'$  方向为回退方向， $F_c$  为切削合力，可分解为进给力  $F_f$  和垂直进给力  $F_{fn}$ 。由于采用蠕动切削加工，切削力方向间断地发生变化，刀具的主轴沿进给方向受到切削力的一个分力  $F_f$  的作用，沿回退方向受到切削力的一个分力  $F'_f$  的作用很小，这两种力对刀轴产生扭矩作用效果是相反的，因而，可以避免刀具主轴的持续扭曲变形和弯曲变形的产生。同时，被加工的工件在加工过程中产生的刚性变形也得到了恢复，从而提高整过数控加工过程中的加工精度。在此方法上，刀具和工件持续的分开，与传统方式相比较，低的热应力对刀具和工件都产生了保护。切削热分析：在常规切削加工过程中所产生的热量主要靠切屑、工件和刀具传出，被周围介质带走的量很少 [5]，但采用蠕动切削加工，在刀具回退的过程中，刀具渐渐地远离进给方向的切削区，这时便在切削区形成了空气气流的流动，有利于切削热被周围介质空气带走，加快了切削热的释放，从而减少了热变形，达到提高被加工曲面表面的质量和加工精度目的。

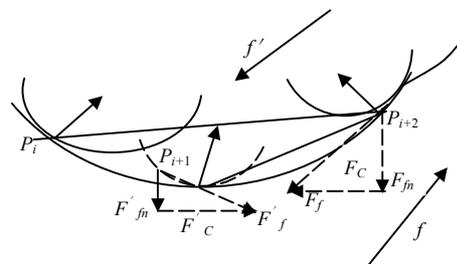


图 3 刀具切削加工所受的切削力

第二种情况：被加工曲面为凸曲面。基本上类似于凹曲面加工的分析结果，不同的是：走刀步

长必须根据被加工曲面所允许的直线逼近误差极限并结合上面的步长计算式来确定；刀具在回退的过程中，基本上是不进行切削加工，但刀杆的弹性变形可以得到恢复。

### 3 实验结果比较

在实验中，我们选用相同的加工条件，即吃刀深度相同（2 mm），轴向总进给量相同（30 mm），主轴转速相同，刀具相同，被加工的工件材料及模型相同，并选用在 FANUC 的数控机床上加工。结果我们发现：在常规加工中，由于加工刀具始终受到切削力的作用，使得刀具在吃刀深度随轴向进给量的增加，而逐渐减少；在蠕动切削加工中，加工刀具每前进 5 mm 就回退 3 mm，我们在测量工件的同部位时发现相差约 0.02 mm，也就是说：在相同加工条件下，采用蠕动切削加工精度比采用常规加工加工精度高 0.02 mm。

（上接第 37 页）

其合理的切削用量也有所不同。车司太立合金选用较低的切削参数，车钢件基体要用较高的切削参数。车削时还要加冷却液以降低刀尖切削温度，提高刀具寿命。经试验，切削用量按下面参数选择（水基冷却）：

$$V_c = 55 \sim 80 \text{ m/min};$$

$$f = 0.12 \sim 0.15 \text{ mm/rev};$$

$$a_p = 0.05 \sim 0.15 \text{ mm}.$$

与早期用的焊接车刀相比，新型硬质合金车刀的切削速度由 15 m/min 提高到 55 m/min 以上，提高效率超过 3 倍。加工表面无补焊点高出，质量达到了技术要求。

### 4 结论

随着市场对汽轮机产品要求的不断提高，司太立合金的使用面也越来越大。掌握其加工方法，对产品加工效率与质量都有积极作用。根据司太立合金堆焊件要求，选用相应刀具和切削方法。

### 4 结论

通过研究表明：采用蠕动切削加工，一方面有利于机床工艺系统在加工过程中产生的变形恢复，另一方面有利于工件的刚性变形的恢复，提高了被加工曲面的表面质量，从而可以提高数控加工的加工精度。但是也会带来机床工作台频繁往复运动问题，通过选用直线电机驱动可以解决此方面的不足。

#### 参考文献：

- [1]李旗号,张丽.自由曲面数控加工中非线性误差分析与走刀步长的确定[J].合肥:合肥工业大学学报,2000,23(3):16-18.
- [2]周灿丰,薛龙,张宝生.工件材料特征对蠕动磨削力的影响和磨削参数选择[J].机械,2000,27(3):385-386.
- [3]刘雄伟,等.数控加工理论与编程技术[M].北京:机械工业出版社,2000.3.
- [4]师汉民.金属切削理论及其应用新探[M].武汉:华中科技大学出版社,2003.
- [5]吴善元.金属切削原理与刀具[M].北京:机械工业出版社,1995.

(1)粗车司太立合金面,首选圆弧型晶须增韧陶瓷刀片,如系统刚性较差可选用C型刀片。

(2)陶瓷刀具有较大的脆性,要掌握正确的方法,严防磕碰,并保持刀具清洁。为提高材料的利用率,要掌握正确的转位方法。

(3)陶瓷刀具对切削热的变化较敏感,加工时宜采用干切方式。

(4)司太立合金堆焊面的精车,首选超细晶粒并带梯度浓度结构的硬质合金精磨制刀片。

(5)精车刀片要锋利以降低切削力,这样可将加工两种不同材料的让刀差异降至最低。

(6)选用精车切削用量时,要兼顾两种材料对刀具的要求,并使用水基切削液。

#### 参考文献：

- [1]韩荣第,于启勋.难加工材料切削加工[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [2]肖诗钢.刀具材料及其合理选择[M].北京:机械工业出版社,1994.
- [3]陈日曜.金属切削原理[M].北京:机械工业出版社,1985.