

自由曲面零件余量加工算法*

谢 叻

(上海交通大学国家模具 CAD 工程研究中心 上海 200030)

周儒荣

(南京航空航天大学)

阮雪榆

(上海交通大学)

摘要: 从提高产品加工效率出发, 提出并实现了三维自由曲面零件余量加工方法。该方法大大地缩短了粗加工时间, 而且留给半精加工和精加工的余量较少, 从而使得零件加工整个过程的总效率提高。实践表明, 算法稳定、可靠, 具有很好的工程应用价值。

关键词: 计算机辅助设计 计算机辅助制造 剪切曲面 数控加工

中图分类号: TP391.73

0 前言

随着数控加工技术的广泛应用, 数控加工的效率问题显得日益尖锐。由于大量的加工时间可能被耗于粗加工过程, 为此, 设计合理、高效的粗加工自动编程方法是一个十分重要的问题。早期的学者大多数将注意力主要集中在精加工上, 相比之下, 有关粗加工方面的研究就显得很少。刀轨形状与曲面形状类似的一类粗加工方法, 如等距法、精加工轨迹法、过渡曲面法^[1], 在加工过程中出现大量的空走刀现象, 切削效率低。等高面法^[2]由于走刀轨迹被限制在二维平面中, 方便了刀具轨迹的优化, 空走刀现象大大减少。因此, 等高面法是有效的粗加工方法。

层切法^[3]是等高面法中的较有效的一种粗加工方法, 它的基本思想是: 构造一组垂直于刀具旋转轴的分层平面与零件面和毛坯体求交, 将交线构造成交闭的二维环, 确定每层的加工区域; 最后将各层的刀轨组织起来形成层切法刀轨。

在层切法中, 刀具半径的选取是影响粗加工效率一个主要因素。选取半径较大的刀具, 切削量大, 加工时间较短, 但产生加工余量较多, 增加半精加工和精加工的加工量, 影响半精加工或精加工的加工效率。选取半径较小的刀具, 产生加工余量较少, 加工时间较长, 但是可以使得后续半精加工和精加工效率提高。为解决层切法粗加工中刀具半径选取时加工时间和加工余量的矛盾, 设计两次加工的

方法: 第一次用半径较大的刀具对毛坯进行加工, 切削大部分材料。第二次用半径较小的刀具只对第一次加工所剩的余量部分进行切削(在第一次已切削区域不空走刀)。这样可以大大地缩短粗加工时间, 而且留给半精加工和精加工的余量较少, 从而使得零件加工的总效率提高。将这种方法称为余量加工方法。余量加工问题具有很好的工程应用价值, 参考文献[4]中首次对它的特例二维平面型腔中的余量加工问题进行了研究。对三维自由曲面零件的余量加工问题进行研究。

为了叙述方便, 将第一次用较大刀具加工仍然称为粗加工, 第二次用较小刀具加工称为余量加工。三维自由曲面零件的余量加工方法的关键是求出余量加工的区域, 即按粗加工方法需加工的区域减去大刀具已切削区域。下面先分析粗加工已切削区域。

1 粗加工切削区域的表示

粗加工时大刀具按层切法切削的区域(V)呈梯田状, 该区域可分解为若干层区域之和, 每一层区域为粗加工时每变换一个层面高度时的切削区域, 假设粗加工进行 n 层切削, 则

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

每一层面上的切削区域由该层面上若干个连通的区域组成, 将它们记为

$$V_j = V_{j,1} + V_{j,2} + \dots + V_{j,S_{1,j}} \quad 1 \leq j \leq n \quad S_{1,j} \geq 1 \quad (1)$$

每一个连通区域由一个外环和若干个内环组成, 将它们记为

$$\{ \text{loop}_{1,j,i}, \text{loop}_{1,j,i,1}, \text{loop}_{1,j,i,2}, \dots, \text{loop}_{1,j,i,T_{1,j,i}} \} \quad (2)$$

式中 $1 \leq i \leq S_{1,j} \quad T_{1,j,i} \geq 0$

* 国家“九五”科技攻关专题“面向制造业的三维曲面造型与数控加工系统开发及商品化”(96A01-01-05)。20020206 收到初稿, 20020520 收到修改稿

除了这些内外环的信息之外,还必须记录分层面的高度值 $h_{1,j}(1 \leq j \leq n)$,其中第一个下标 1 代表粗加工,第二个下标表示粗加工切削层的序数。

如果余量加工的分层面与粗加工时的分层面完全相同,那么三维自由曲面零件的余量加工可简单地分解为 n 个二维型腔的余量加工问题,但这样处理不能满足实际需要。这是因为,一方面由于粗加工和余量加工使用的刀具半径不同,它们的最大切削厚度也不同;另一方面,如果余量加工时的分层面与粗加工的分层面不同,将减小整个粗加工形成的台阶的高度,减少后续半精加工和精加工的余量。假设余量加工时切削层数为 m ,层高记为 $h_{2,k}(1 \leq k \leq m)$,其中第一个下标 2 代表余量加工,第二个下标表示余量加工切削层的序数。下面讨论余量区域的计算。

2 余量加工区域的确定

三维自由曲面零件的余量产生位置分为 3 种情况:①型腔的外轮廓附近。②岛屿附近。③粗加工的各加工区域的内部。

其中第 3 种位置的余量在使用环切方法时会出现,可通过提高刀轨重叠率来消除。

下面分析余量加工时第 $k(1 \leq k \leq m)$ 层分面上的加工区域。

(1) 求出在该层上经过粗加工后的已切削区域

实际上只要在已记录的粗加工层切面的高度链表中找出 j ,使得 $h_{1,j} \leq h_{2,k} < h_{1,j-1}$ (特殊地 $h_{1,0} = +\infty$),则已切削区域为 V_j ,它由式(1)、(2)表示为 $S_{1,j}$ 个连通的区域。

(2) 求出按粗加工方法小刀具需切削的区域

余量加工时第 k 层分层面与加工零件表面的交线组成若干个环,将这些环表示成树状结构,使得父环包含子环以及子环的兄弟环,兄弟环之间不相互包含。再将树状结构中的环组成 $S_{2,k}$ 个互不连通的加工区域。

对于每一个区域中的轮廓环,以余量加工刀具的半径加上外壁余量为等距值作外环的内等距,以余量加工刀具半径加上岛屿壁余量为等距值作内环的外等距。如果出现某个环的等距环经过自交处理后得到的有效子环数不为 1 或者某两个等距环相交,则说明小刀具加工后仍有余量产生。此时屏幕给出提示:仍有余量产生,请换更小刀具。因此经过等距处理后的等距环的数量与等距前的数量相同,将它们记为

$$\{loop_{o_{2,k,l}}, loop_{i_{2,k,l,1}}, loop_{i_{2,k,l,2}}, \dots, loop_{i_{2,k,l,T_{2,k,l}}}\} \quad (3)$$

式中 $1 \leq l \leq S_{2,k} \quad T_{2,k,l} \geq 0$

它们所包含的区域即为小刀具按粗加工方法需加工区域。

(3) 求出余量区域

在第 k 层分层面上按段(2)中方法生成的第 l 个待加工区域中求出余量加工区域。

1) $loop_{o_{2,k,l}}$ 减去 $loop_{o_{1,j,i}}(1 \leq i \leq S_{1,j})$ 以粗加工刀具半径为等距值的外等距环,再减去 $loop_{i_{2,k,l,1}}, loop_{i_{2,k,l,2}}, \dots, loop_{i_{2,k,l,T_{2,k,l}}}$, 得到情况①中的加工余量。

2) 对每个 $loop_{i_{1,j,i,t}}(1 \leq i \leq S_{1,j}; 0 \leq t \leq T_{1,j,i})$, 以粗加工刀具半径为等距值生成内等距环,然后减去 $loop_{i_{2,k,l,1}}, loop_{i_{2,k,l,2}}, \dots, loop_{i_{2,k,l,T_{2,k,l}}}$, 得到情况②中的加工余量。

3 余量加工刀轨生成

对每个余量区域按行切或环切方式生成刀轨,环切时刀轨重叠率大于等于 50%。除此之外还需对下面情况中余量加工刀轨生成进行特殊处理。

当余量加工的分层面与粗加工的所有分层面均不重合时,即 $h_{1,j} < h_{2,k} < h_{1,j-1}$ 。对于节 2 中段(2)中生成的每一个区域的外环和内环,如果将它们作为刀轨的话,均能使粗加工后所剩的台阶部分的残留量减少,对减少加工余量有益。然而,有时按照上面节 2 中段(1)、(2)、(3)中的步骤生成的余量加工区域不一定包括所有这些内外环。下面举一个例子说明,例如一个锥形型腔零件(如图 1 所示), $loop_1$ 为粗加工时 $h_{1,j}$ 高度上分层面与曲面零件的交线在 Oxy 平面的投影, $loop_2$ 为余量加工时 $h_{2,k}$ 高度上分层面与曲面零件的交线在 Oxy 平面的投影, $loop_3$ 为粗加工刀轨,即以粗加工的刀具半径为等距值的内等距环, $loop_4$ 为以余量加工刀具半径为等距值的 $loop_2$ 的内等距环。粗加工时在 $h_{1,j}$ 高度上分层面的切削区域是 $loop_1$,如果余量加工时以 $loop_4$ 作为刀轨,在 $h_{2,k}$ 高度上分层面的切削区域是 $loop_2$,显然能够减少加工残留量。但由于 $loop_1$ 包含 $loop_4$,按节 2 段(3)中 1)的方法求情况①中的加工余量时, $loop_4$ 减去 $loop_3$ 的以粗加工刀具半径为等距值的外等距环 $loop_1$ 为空集,没求出该位置的余量区域。因此,除了节 2 段(1)、(2)、(3)中的步骤生成的余量加工区域外,当没有求出节 2 中情况①、②的刀轨时,还需加上以节 2 段(2)中生成的外环和内环为轨迹的刀轨。

轨。

需要说明的是,在二维平面型腔余量加工中不会发生这种情况。例如,当零件为圆柱体时(如图 2 所示),粗加工和余量加工时层面与曲面零件的交线在 Oxy 平面的投影重合,均为 $loop_1$; $loop_2$ 为粗加工刀轨,粗加工的切削区域为 $loop_1$; $loop_3$ 为以余量加工刀具半径为等距值的 $loop_1$ 的内等距环, $loop_3$ 减去 $loop_2$ 的以粗加工刀具半径为等距值的外等距环 $loop_1$ 为空集,没求出该位置的余量区域。与三维曲面零件不同的是,如果余量加工时沿 $loop_3$ 加工,并没有减少加工残留量,因而不需要沿 $loop_3$ 进行余量加工。

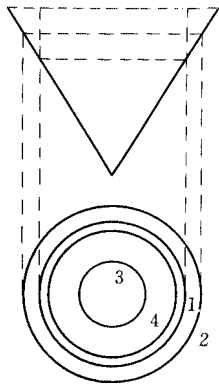


图 1 锥形分析图

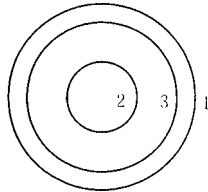
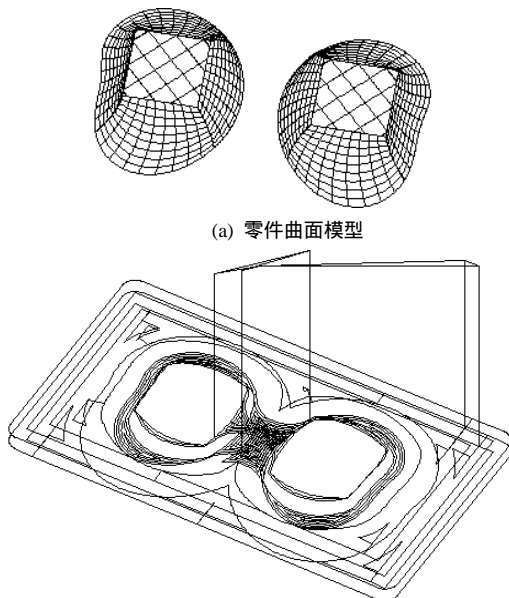


图 2 柱形分析图

1,2,3,4—— $loop_1, loop_2, loop_3, loop_4$ 1,2,3—— $loop_1, loop_2, loop_3$

图 3a 表示某零件曲面模型;图 3b 表示粗加工和余量加工刀轨,四周较稀的部分为粗加工刀轨,中间较密的部分为余量加工刀轨。



(a) 零件曲面模型

(b) 粗加工和余量加工刀轨

图 3 零件曲面模型和加工刀轨

4 结论

余量加工方法不仅大大地缩短了粗加工时间,而且留给半精加工和精加工的余量较少,从而使得零件加工的总效率提高,具有很好的工程应用价值。作者按照该算法编写的程序已在南京航空航天大学 CAD/CAM 工程中心开发的具有自主知识产权的 Superman CAD/CAM 系统中实现,实践证明,算法稳定可靠,提高了该系统的加工编程能力。

参 考 文 献

- 1 Giuseppe Catania. A computer-aided prototype system for NC rough milling of free-form shaped mechanical pieces. *Computer in Industry*, 1992, 20: 275~293
- 2 Lee K, Kim T J, Hong S E. Generation of toolpath with selection of proper tools for rough cutting process. *Computer Aided Design*, 1994, 26(11): 822~831
- 3 Kuragano T. FPESDAM system for design of aesthetically pleasing free-form objects and generation of collision-free tool paths. *Computer Aided Design*, 1992, 24(11): 573~581
- 4 谢叻,周来水,周儒荣. 复杂型腔的余料加工方法. *东南大学学报*, 1999, 29(3): 63~67

METHOD OF NC TOOL PATH GENERATION FOR COMPOUND SURFACES

Xie Le

(Shanghai Jiaotong University)

Zhou Rurong

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics)

Ruan Xueyu

(Shanghai Jiaotong University)

Abstract: A rough milling method for compound surfaces is proposed and implemented. The method can reduce the rough milling time greatly while little uncut material need to be cut in semi-finish and finish process, so the total milling time is reduced. The milling efficiency is promoted. It is proved that the algorithm is stable and reliable.

Key words: CAD CAM Trimmed surface NC machining
作者简介: 谢叻,男,1964 年出生,博士,副教授。主要研究方向为 CAD/CAE/CAM,发表论文 10 余篇。