

文章编号 :1006 - 5911(2003)02 - 0226 - 04

模具型腔数控加工计算机辅助刀具选择研究

王 玉,高崇辉,徐和国

(上海交通大学国家模具 CAD 工程研究中心,上海 200030)

摘 要 :自动产生模具型腔加工的工艺计划及数控加工指令对提高模具型腔的加工效率具有重要意义。研究了模具型腔工艺规划中的刀具选择问题,提出了模具型腔粗加工、半精加工、精加工刀具选择的原则与方法,并构造了相应的实现算法,重点研究了粗加工中刀具的组合优化问题,并建立了数学模型,给出了计算机辅助刀具选择系统的体系架构,基于所提方法在 UG/OPEN API 环境下进行了初步编程实现,以一个包含岛及自由曲面的模具型腔零件的刀具选择为例,说明系统及算法的可行性。

关键词 :计算机辅助刀具选择;模具型腔;数控加工

中图分类号 :TP391.7 文献标识码 :A

0 引言

数控加工中包括刀具轨迹的产生和刀具选择两个关键问题^[1]。前一问题在过去的 20 年里得到了广泛而深入地研究,发展的许多算法已在商用 CAD/CAM 系统中得到应用。目前大多数 CAM 系统能够在用户输入相关参数后自动产生刀具轨迹。比较而言,对以质量、效率为优化目标的刀具选择问题的研究还远未成熟,当前还没有商用 CAM 系统能够提供刀具优选的决策支持工具^[2],因而难以实现 CAD/CAM 的自动有机集成。刀具选择通常包括刀具类型和刀具尺寸^[3]。一般来说,适合一个加工对象的刀具通常有多种,一种刀具又可完成不同的加工任务,所以仅考虑满足基本加工要求的刀具选择是较容易的,尤其对孔、槽等典型几何特征。但实际上,刀具选择通常和一定的优化目标相联系,如最大切削效率、最少加工时间、最低加工成本、最长使用寿命等,因此刀具选择又是一个复杂的优化问题。比如模具型腔类零件,由于几何形状复杂(通常包含自由曲面及岛),影响刀具选择的几何约束在

CAD 模型中不能显式表示,需要设计相应的算法进行提取,因而选择合适的刀具规格及其刀具组合,以提高数控加工的效率与质量并非易事^[4]。

模具型腔一般用数控铣的加工方法,通常包括粗加工、半精加工、精加工等工序。粗加工的原则就是尽最大可能高效率地去除多余的金属,因而希望选择大尺寸的刀具,但刀具尺寸过大,可能导致未加工体积的增多,半精加工的任务主要是去除粗加工遗留下来的台阶,精加工则主要保证零件的尺寸及表面质量^[5]。考虑到目前完全由计算机进行自动选刀还存在一定困难,因而在我们开发的计算机辅助刀具选择(Computer Aided Tool Selection, CATS)系统中,立足于给用户提供一个辅助决策工具,即粗加工、半精加工、精加工等,真正的决策权仍留给用户,以充分发挥计算机和人的优势。

1 系统基本结构

CATS 系统的输入为 CAD 模型,输出为刀具类型、刀具规格、铣削深度、进给量、主轴转速(切削速度)和加工时间等六个参数(如图 1),包括刀具类型

收稿日期 2003 - 01 - 30 修订日期 2003 - 07 - 22。

基金项目 :高等学校博士点基金资助项目(20020248017)。

作者简介 :王 玉(1963 -)男,河南灵宝市人,上海交通大学国家模具 CAD 工程研究中心副教授,博士,主要从事模具 CAD,CAE,CAM 及 PDM 等企业信息化方面的研究。E-mail: yuwang999@sina.com。

选择辅助决策工具、粗加工刀具选择辅助决策工具、半精加工刀具选择辅助决策工具及精加工刀具选择辅助决策工具等。鉴于粗加工在型腔加工中的重要地位(通常为精加工时间的 5~10 倍),粗加工时系统具有刀具自动优化组合的功能,以提高整体加工的效率。除了上述决策工具外,系统还具有查看刀具详细规范、根据刀具类型和尺寸推荐加工参数及评估加工时间等功能,最后生成总的刀具选择结果报表(如图 2)。系统所有的刀具数据及知识均由后台数据库做支持。

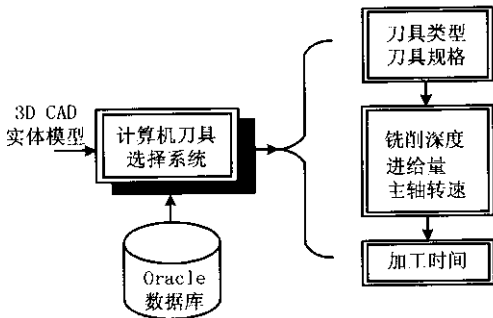


图1 计算机辅助刀具选择系统的输入与输出

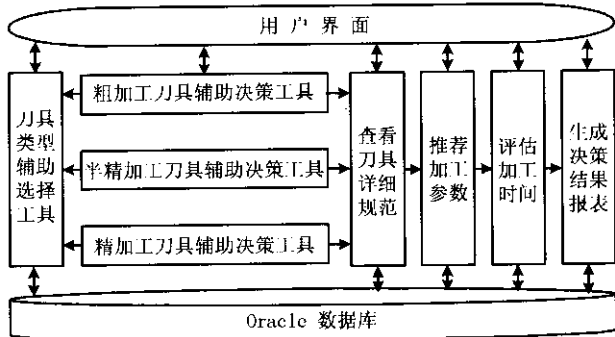


图2 计算机辅助刀具选择系统的基本功能模块

2 关键技术及算法

2.1 刀具类型选择

根据模具型腔数控加工实践,型腔铣加工的刀具一般分为平头铣刀、圆角铣刀及球头铣刀三种。设刀具直径为 D ,圆角半径为 r ,当 $r=0$ 时为平头铣刀 $0 < r < D/2$ 时为圆角铣刀 $r = D/2$ 时为球头铣刀。刀具类型的选择取决于数控加工的工序类型及模具型腔的几何形状。比如,粗加工中为提高加工效率,通常选用平头铣刀,而在精加工中,为了保证加工的精度,一般选取球头铣刀。同时,当模具型腔具有同一拔模斜度时,可使用成型铣刀。由于模具型腔千变万化,几何形状十分复杂,因而实践中刀具类型的选择很大程度上依赖于个人的经验。系统中

刀具类型的选择知识主要来自加工实践,采用问卷调查的形式获取。

刀具又可分为整体式和镶片式。对于镶片式,关键是选取刀片的材质,刀片材质的选择取决于三个要素:被加工工件的材料、机床夹具的稳定性以及刀具的悬臂状态。系统将被加工工件的材料分为钢、不锈钢、铸铁、有色金属、难切削材料和硬材料等六组。机床夹具的稳定性分为很好、好、不足三个等级。刀具悬臂分为短悬臂和长悬臂两种,系统根据具体情况自动推理出刀片材质,决策知识来源于 WALTER 刀具手册,系统由用户首先交互选择刀具类型。对镶片式刀具,基于规则自动推理出合适的刀片材质。例如,如果被加工工件的材料为“钢”,机床夹具的稳定性为很好,刀具悬臂为短悬臂,则刀片材质应为 WAP25。

2.2 粗加工刀具组合优化

型腔粗加工的目的就是最大化地去除多余的金属,通常使用平头铣刀,采取层切的方法。因此 3D 模具型腔的粗加工过程,实际上就是对一系列 2.5D 模具型腔的加工。刀具优化的目的就是要寻找一组刀具组合,使其能够以最高的效率切除最多的金属。刀具组合优化的基本方法如下:

- (1)以一定的步长做一组垂直于进刀方向的搜索平面与型腔实体相交,形成若干搜索层。
- (2)求出截交轮廓。
- (3)计算内外环之间或岛与岛之间的关键距离,即影响刀具选择的几何约束,算法流程如图 3 所示。
- (4)根据合并原则(相邻关键距离相差小于给定阈值)对搜索层进行合并,确定加工平面和可行刀具集,形成加工层。
- (5)确定每一加工层使用的刀具,即型腔加工的刀具组合。
- (6)根据刀具推荐的加工参数(切削速度、铣削深度和进给速度),计算材料去除率。
- (7)根据加工层实际切除的体积,计算每一加工层的加工时间。
- (8)计算型腔总的加工时间和残余体积。
- (9)对该组刀具组合的总体加工效率进行评估。
- (10)重复(1)~(9),直至求出最优的刀具组合。

如以时间为目标,即要求以整个型腔的加工时

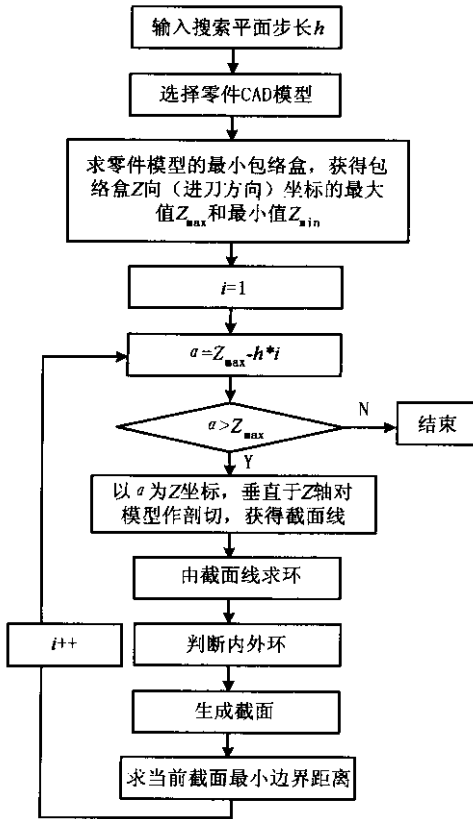


图3 求关键距离算法流程

间 t 最短来优化刀具组合。基于上述方法,可建立如下形式化的优化模型。

$$\min t = \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{\text{MRR}_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m a_j c_{ij}}{\text{MRR}_i}$$

$$\text{MRR}_i = (d_i c_{ij}) \times (Nfz) \quad \text{切割截面积乘进给率}$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} < h$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_j c_{ij} < V$$

$$d_i \leq r_{ik} \quad k = 1 \dots l$$

$$d_i = \max\{d \mid d_{ip}, p = 1 \dots q\}$$

$$\frac{|r_{ik} - r_{i,k+1}|}{r_{ik}} \leq \varepsilon_1 \quad i = 1 \dots n \quad k = 1 \dots l$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_j c_{ij}}{V} \leq \varepsilon_2$$

式中: n —型腔加工层数量; m —每一加工层刀具的铣削次数; l —每一加工层中的搜索层数量; q —每一加工层可行的刀具数量; h —型腔深度; c_{ij} — i 加工层第 j 次铣削深度; a_j —第 j 切割层底面积; v_i — i 加工层的铣削体积; MRR_i — i 加工层的材料去除率; d_i — i 加工层的刀具直径; d_{ip} — i 加工层可行刀具集合;

r_{ik} — i 加工层 k 搜索层的关键距离; ε_1 —控制搜索层合并的常数; ε_2 —控制残余体积的常数; V —型腔体积; ΔV —残余体积; N —主轴转速; f —刀具每齿进给量; z —刀具齿数。

考虑到不同的搜索平面步长会产生不同的加工层,从而导致不同的加工时间和残余体积,因此有时尽管总的加工时间较短,但残余体积可能较多。由此可见,单独以加工时间为目标进行优化有时并不一定科学。为此,提出了效率系数的概念,综合考虑了加工时间和残余体积的因素,加工时间越短,残余体积越少,则效率系数就越高。令:

$$Q = \frac{t}{(V - \Delta V)/V} \times \frac{\Delta V}{V} = \frac{t \cdot \Delta V/V}{1 - \Delta V/V} = \frac{tk}{1 - k}$$

上式中前一项反映了加工单位体积的时间系数,其中 $k = \Delta V/V$ 为残余体积百分数。这样,效率系数可定义为 $q = 1/Q$ 。

2.3 半精加工刀具选择

半精加工的主要目的是去除粗加工残留下的台阶状轮廓。为完全去除台阶,铣削深度必须大于每一台阶到零件表面的距离 $x^{[5]}$ 。其算法步骤如下:

- 步骤1 由零件实体模型获得两个相邻截面的表面积以及相应的轮廓长度;
- 步骤2 计算平均轮廓长度;
- 步骤3 计算台阶宽度;
- 步骤4 计算台阶拐角到零件表面的法向距离 x ;
- 步骤5 重复步骤1~步骤4,决定每一台阶的铣削深度;
- 步骤6 计算刀具直径 D ,按经验 $D = x/0.6$ 或根据刀具手册推荐;
- 步骤7 选择铣削深度大于 x 的最小刀具。

2.4 精加工刀具选择

精加工刀具选择的基本原则是:刀具半径尺寸 R 小于零件表面最小的曲率半径 ρ ,一般取 $R = (0.8 \sim 0.9)\rho$ 。其算法步骤如下:

- 步骤1 从零件实体模型计算最小曲率半径;
- 步骤2 从刀具库中检索出刀具半径小于计算所得的曲率半径的所有刀具;
- 步骤3 选出满足上述要求的最大刀具;
- 步骤4 如果所有刀具大于最小的曲率半径,选择最小的作为推荐刀具。

3 系统实施及算例

CATS 系统在 UG/OPEN API 环境下应用 C 语言开发而成。后台数据库为 Oracle 8i,利用 ODBC 编程实现 UG 与数据库之间的通讯。所有的刀具数

据及知识来自德国 WALTER 公司的硬质合金刀具综合样本。

图 4 为一包含岛及雕塑曲面的模具型腔, 根据上文提出的粗加工刀具组合的优化方法, 该模具型腔粗加工刀具的优化组合为 20, 12, 8, 5。计算中, 工件材料选定为中碳钢, 切削速度推荐值为 100m/min, 铣削深度为刀具直径的 1/2, 进给量根据刀具推荐值由程序自动修正计算。

同时, 假定刀具库中现有平头铣刀刀具规格为 $\Phi 3, \Phi 4, \Phi 5, \Phi 6, \Phi 8, \Phi 10, \Phi 12, \Phi 16, \Phi 20$ 。同样, 根据半精加工和精加工的刀具选择算法, 得到的球头铣刀的刀具直径分别为 4 和 3。



图4 包含岛及雕塑曲面的模具型腔

4 小结与讨论

模具型腔加工的工艺规划通常需要很高的技术与经验, 准备 NC 数据的时间几乎和加工时间一样多^[6]。因此, 自动产生型腔加工的工艺计划及 NC 加工指令的需求就显得愈加迫切。

本文系统研究了模具型腔工艺规划中的刀具选择问题, 提出了模具型腔粗加工、半精加工、精加工刀具选择的原则和方法, 构造了相应的实现算法, 并在 UG/OPEN API 环境下进行了初步编程实现, 开

发了 CATS 原型系统。在刀具类型和规格确定的基础上, 系统还可根据刀具手册推荐加工参数(切削速度、铣削深度、进给量等), 对相应的加工时间进行评估。其最终目的是真正实现 CAD/CAM 的集成, 继而通过后处理产生数控加工指令。目前 CATS 系统的界面还是独立于 UG 的 CAM 界面, CATS 的决策结果还需要用户重新输入到 CAM。

需要指出的是, 要提高模具型腔的总体加工效率, 需要从粗加工、半精加工、精加工的整体上考虑, 进行多目标组合优化, 这将是我们要进行的工作。

参考文献:

- [1] LEE Y S, CHANG T C. Application of computational geometry in optimizing 2.5D and 3D NC surface machining[J]. Computers in Industry, 1995, 26(1) : 41 - 59.
- [2] LIM T, CORNEY J, RITCHIE J M, et al. Optimizing tool selection[J]. International Journal of Production Research, 2001, 39(6) : 1239 - 1256.
- [3] MIAO H K, SRIDHARAN N, SHAH J J. CAD - CAM integration using machining features[J]. Int. Jour. Computer Integrated Manufacturing, 2002, 15(4) : 296 - 318.
- [4] KYOUNG Y M, CHO K K, JUN C S. Optimal tool selection for pocket machining in process planning[J]. Computers Ind Engng, 1997, 33(3/4) : 505 - 508.
- [5] LIN A C, WEI C L. Automated selection of cutting tools based on solid models[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 72(3) : 317 - 329.
- [6] CHOI B K, KO K. C - space based CAPP algorithm for freeform die - cavity machining[J]. Computer - Aided Design, 2003, 35(2) : 179 - 189.

Computer Aided Tool Selection in Die/Mold Cavity's NC Machining

WANG Yu, GAO Chong - hui, XU He - guo

(National Die/Mold Eng. Research Cent., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China)

Abstract: The tool selection issue in process planning is addressed, which is important for CAD/CAM integration. The guidelines and methods for tool selections in cavity roughing, semi - finishing and finishing are proposed, and corresponding algorithms are developed accordingly. Moreover, the tool combination optimization in cavity roughing is focused, and a mathematical model for it is presented. Based on the system architecture for computer aided tool selection (CATS), all proposed methodology and algorithms are implemented under UG/OPEN API context. A tool selection example for a practical cavity with island and sculptured surfaces is given to show the feasibility of system.

Key words: computer aided tool selection (CATS); die/mold cavities; NC machining