

数控铣削工艺参数优化的研究*

刘 淼, 陈文亮, 翟建军

(南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

摘 要:提出了数控铣削工艺参数优化的方案, 该方案将精通数控铣削的工人和工艺专家的经验知识和理论公式有机地结合起来。其中着重对理论公式进行深入探讨。

关键词:数控铣削; 铣削参数优化; 数据库; 目标函数

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-532X(2002)01-0038-03

随着数控铣床在制造业中的广泛使用, 数控铣削在现代加工中扮演着越来越重要的角色。由于数控铣削是一种高费用的加工手段, 使用优化的切削工艺参数, 来保证加工质量, 提高加工效率, 降低生产成本, 变得越来越必要, 因此如何优化数控铣削工艺参数的问题就显得越来越突出。解决这一问题的关键就是采用哪一种方案, 实现铣削工艺参数的优化^[1~4]。

1 铣削参数优化方案概述

该方案中的优化工艺参数有两种来源, 一种是将精通数控铣削的工人和工艺专家所掌握的经验工艺参数, 通过建立经验铣削工艺参数数据库, 保存到该数据库中, 数控编程或加工时, 输入相应的加工特征、加工要求, 通过检索数据库, 提取数据, 得到相应的铣削工艺参数; 第二种来源是通过生产加工实践, 或切削试验分析影响铣削工艺参数的主要变量和约束, 建立优化工艺参数的数学模型, 并建立理论铣削工艺参数数据库。加工时, 输入加工特征、工艺参数的估计值(作为优化初始值)、加工要求, 通过推理计算, 得到相应的理论工艺参数, 并将得到的理论工艺参数存入理论铣削工艺参数数据库中, 经生产实践检验后, 将理论工艺参数加以修正, 存入经验铣削工艺参数数据库中。同时经验工艺参数在以后的生产加工中, 还要经过实践的检验, 并加以修正, 如图 1 所示。

2 铣削工艺参数优化模型的建立和求解

通常在铣削加工时, 需要得到的加工工艺参数是主轴转速 N 、每齿进给量 f 、铣削深度 a 、铣削宽度 a_e 。根据经验, 粗加工时, $a_e = d/2$, d 为铣刀直径(mm); 精加工时, a_{rad} 为 1~2 mm; 因此实际需要确定的变量是主轴转速 N 、每齿进给量 f 、铣削深度 a 。对铣削工艺参数进行优化, 人们总是希望在现有的加工条件下, 使得加工时间最少, 同时生产成本最低, 但是二者之间往往不可能同时达到最优。因此在建立优化模型时, 采用混合多目标优化数学模型。

2.1 加工时间最少目标函数

$$t_m = \left[\frac{D}{a} \right]_{\max} \times \frac{K}{v_f} = \left[\frac{D}{a} \right]_{\max} \times \frac{K}{zfN} = K_1 \left[\frac{D}{a} \right]_{\max} N^{-1} f^{-1} \quad (1)$$

其中: t_m 表示铣削加工时间; K 表示每层铣削时的铣削长度; D 表示工件需要加工的深度; v_f 表示刀具的进给速度; Z 表示刀具齿数; $\left[\frac{D}{a} \right]_{\max}$ 表示将 D/a 的值向上取整; $K_1 = K/Z$ 。

2.2 最低加工成本目标函数

每一个工件的生产成本是由原材料成本、工件装卡时的安装成本、加工成本、换刀成本组成。由于材料成本和安装成本不受加工工艺参数影响, 所以最低加工成本目标函数是:

$$C_m = (c_1 + c_o)t_m + (c_1 t_{tc} + c_1 + c_o t_{tc}) \left(\frac{t_m}{T} \right) \quad (2)$$

* 收稿日期 2001-10-10

作者简介: 刘 淼(1973-)男, 江苏徐州人, 南京航空航天大学硕士研究生, 主要研究方向为 CAD/CAM。

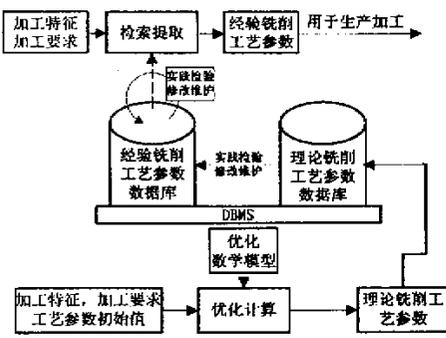


图 1 伏化方案图

Fig.1 Optimization Project diagram

其中: c_m 表示加工成本; c_1 表示劳动力成本; c_0 表示企业一般管理成本; c_i 表示刀具成本; t_m 表示加工时间; t_{tc} 表示换刀时间; T 表示刀具耐用度;

$$T = \frac{60}{Q} \left(\frac{C}{A^w \pi d N / 1000} \right)^{\frac{1}{n}}$$

其中 C 表示常量; n 为刀具寿命指数, 和刀具质量和工件材料硬度有关; g 为细长比指数; w 为刀具磨损指数 细长比 $G = a/f$; 切屑横截面积 $A = af$; Q 为每一转每个切削刃切削工件的时间与整把刀具切削工件的时间的比例。将 $G = a/f$; $A = af$ 代入公式得:

$$T = K_2 a^{(g-w)\gamma n} N^{-1/\gamma n} f^{-\gamma(w+f)\gamma n} \quad (3)$$

其中 $K_2 = 60^n \sqrt{1000} \times (\pi d)^{-1/\gamma n} Q^{-1} C^{1/\gamma n} 5^{-g/\gamma n}$

将公式(1)(3)代入公式(2)中得

$$c_m = C_2 \left[\frac{D}{a} \right]_{\max} \times N^{-1} f^{-1} + C_3 \left[\frac{D}{a} \right]_{\max} a^{-(g-w)\gamma n} N^{(1/\gamma n)-1} f^{(w+f)\gamma n-1} \quad (4)$$

其中 $C_2 = (c_1 + c_0)K_1$;

$$C_3 = (c_1 t_{tc} + c_i c_0 t_c) K_1 / K_2$$

2.3 混合多目标优化目标函数

以上讨论了, 加工时间最少目标函数 和最低加工成本目标函数。但是根据切削理论, 在实际生产过程中, 切削时间最短和加工成本最低是不相容的, 不可能同时实现。混合多目标优化目标函数并不是希望切削时间最短, 加工成本最低能够同时实现, 而是希望根据生产加工的实际情况, 通过确定加工时间和加工成本的重要程度, 来得到一个加工时间和生产成本都相对较低的切削参数, 属于多目标优化问题, 目标函数为:

$$F = w_1 (t_m / t_e) + w_2 (c_m / c_e);$$

令 $X = [x_1, x_2, x_3]^T = [N, f, a]^T$; 则优化目标函数为:

$$F(X) = w_1 [t_m(X)/t_e] + w_2 [c_m(X)/c_e] \quad (5)$$

式中, w_1, w_2 为加权系数; 应满足 $w_1 + w_2 = 1$ 在这里认为同等重要, 暂取 $w_1 = w_2 = 0.5$; t_e, t_c 分别为未经优化前估计的加工时间和加工成本, 除的目的是进行无量纲标定。

2.4 约束

实际加工中主轴转速、铣削深度和进给量的可能变化范围受到下述约束的限制:

(1) 机床的最大功率的限制 $G_1(X) = F(X) - P_{\max} \leq 0$

(2) 主轴最大转速的限制 $G_2(X) = x_1 - N_{\max} \leq 0$

(3) 刀具刚度允许的最大切削力的限制

$$G_3(X) = F(X) - F_{\max} \leq 0$$

(4) 机床最大进给量的限制 $G_4(X) = Nx_2z - v_{f\max} \leq 0$

(5) 精加工时表面粗糙度的限制 $G_5(X) = R_a(x_2) - R_{a\max} \leq 0$

(6) 最大切削深度的限制 $G_6(X) = x_3 - a_{\max} \leq 0$

另外还有切削时产生的最大热量的限制, 但是采用有效的冷却系统, 可克服产生过热现象。

2.5 优化方法和程序框图

采用混合惩罚函数方法进行优化, 计算框图如图 2 所示。

3 实例研究

以高速钢两齿立铣刀加工 $\Phi 7050$ 铝件为例 (铣削宽度 $a_e = 10 \text{ mm}$), 加工特征为粗铣槽腔, 机床为 $V_2 - 2000B$ 按经验选择各变量的初始参数 (即根据经验确定的各铣削参数) $N = 3000, f = 0.1 \text{ mm}, a = 10 \text{ mm}$ 。

表 1 预设的参数和约束条件中用到的极限条件

Table 1 Predetermined machining parameter and Limited condition

铣削宽度 a_e/mm	最大功率 P_{\max}/kW	主轴最大转速 $n_{\max}/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	最大切削深度 a_{\max}/mm	最大进给速度 $v_{f\max}/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	最大切削力 F_{\max}/kN
10	15	6000	20	5000	156

表 2 公式中所用到的常量或系数

Table 2 Constants and coefficients used in formule

常量或系数名	C	n	g	w
值	33.98	0.15	0.14	0.28

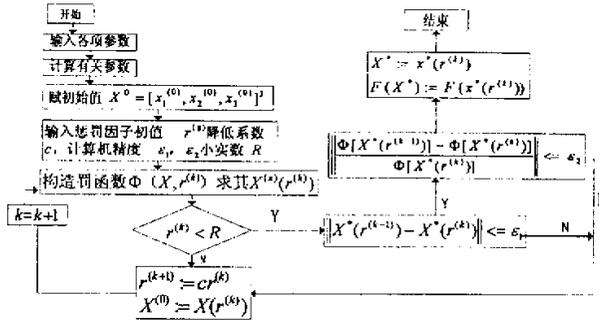


图 2 程序框图

Fig.2 Program Diagram

表 3 计算结果分析表

Table 3 Analysis of computing results

	铣削宽度 a_e/mm	主轴转速 $N/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	切削深度 a/mm	每齿进给速 度 $v_f/(\text{mm} \cdot \text{z}^{-1})$
经验值	10	3000	10	0.1
优化值	10	3500	15	0.13

上表可得出,经优化设计后,在同样加工条件下,可适当调整主轴转速、铣削深度和每齿进给量,而且设备的能力完全可以满足,更重要的是铣

参考文献:

[1] 余俊. 优化方法程序库 OPB-1[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
 [2] 白新桂. 数据分析与优化设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
 [3] TLOUEI-RAD M, BIDHENDI I M. On the optimization of machining parameters for milling operations[J]. Int. j. mach. Tools Manufact 1997, 37(1): 1-16.
 [4] Won-Soo Yun, Dong-Woo Cho. Accurate 3-D cutting force prediction using cutting condition independent coefficients in end milling [J]. International Journal of Machine Tools&Manufacture 2001 (4): 1-6.

削同样加工量的时间缩短了。

5 结论

铣削加工要确定的工艺参数很多,要尽快完成生产任务,又要降低生产成本,要解决这个矛盾,利用本文建立的优化模型可快而全面地自动选出现有条件下的最佳铣削工艺参数。另外,针对各种加工工艺条件,只需根据经验数据或主动因子试验,确定优化模型中的各指数值,就可利用本决策方案得到优化的铣削工艺参数。

Research on the Optimization of Machining Parameters for Milling Operations

LIU Miao, CHEN Wen-liang, ZHAI Jian-jun

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Jiangsu Nanjing 210016, China)

Abstract: In this paper, the optimization of machining parameters for NC milling operations is discussed. In the study, the experiential knowledge of the workers and technologic experts who are skillful in NC milling operations, and the theoretic formula are integrated, where the deep investigation is emphasized on the latter.

Keywords: NC Milling; Optimization of Milling Parameters; Database; Objective Function