·结构与工艺·

车削变形参数的回归分析解法

甘永利,吕志新,牛大明

(东北电子技术研究所,辽宁　锦州　121000)

摘　要:在车削加工时,工件在切削力和夹具夹紧力的作用下会产生变形,变形量的大小直接影响工件的加工精度,在径向刚度较差的工件中表现得尤其明显.因此在车削批生产中合理选择其加工参数和夹紧力的大小对提高加工精度和加工效率有着重要的意义.采用数值回归分析方法可求得车削加工变形公式中的部分参数,对实际工件的批量加工有着重要的指导意义.

关键词:车削变形;车削力;夹紧力;回归分析

中图分类号:TG506　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1673－1255(2009)06－0070－03

Solution of Lathing Deformation Parameters by Regression Analysis

GAN Yong-li, LV Zhi-xin, NIU Da-ming

(*Northeast Research Institute of Electronics Technology*, *Jinzhou* 121000, *China*)

Abstract: The workpieces will be deformed under the cutting and clamping forces during the lathing, the values of deformation will directly influence the precision of workpiece, especially with bad diameter rigidity. So how to obtain the lathing and clamping values is very important to improve the precision and efficiency of mass production. The parameters can be partly gained by regression analysis, it can instruct the mass lathing instrumentally.

Key words: lathing deformation; cutting force; clamping force; regression analysis

车削在机械加工中是常用的一种加工方法,其加工精度决定于机床性能、加工参数和夹具夹紧力大小的选择是否合理等.车削工件时,工件在切削力和夹具夹紧力作用下会产生变形,变形量的大小对工件的加工精度有着直接的影响[1].在传统的车削加工过程中,操作者根椐平时的加工经验来选择加工参数(切削深度、每齿进给量)和主轴的转速(切削速度),工艺人员也参考设计经验设计夹具.在夹紧工件时,操作者根据实际的加工情况来定性地夹紧工件,对于夹紧力的大小没有定量的数值.而合理的加工参数和夹紧力的大小可以很好地保证设计精度,并且对于某些工件可以一次完成加工,不需后续的精车等工序,这样可以大大地提高加工效率,对于大批量生产的效果更为明显[2-3].

1　工件的加工变形量

1.1　变形量的经验公式

工件加工变形量的经验公式为

$$y_{\max}=k\cdot a_p^{x_1}\cdot f_z^{x_2}\cdot v^{x_3}\cdot F^{x_4} \tag{1}$$

式中,$y_{\max}$ 为工件变形量(mm);α_p 为切削深度(mm);f_z 为每齿进给量(mm);F 为夹紧力(N);v 为车削速度(m/min);k 为常数系数.

1.2　变形量的仿真

以薄壁铝合金件加工为例,对其在不同的加工

收稿日期:2009－09－11

作者简介:甘永利(1969－),男,辽宁阜新人,高级工程师,研究方向为电子设备结构设计;吕志新(1976－),男,辽宁锦州人,助理工程师,研究方向为电子设备结构设计;牛大明(1985－),男,河北唐山人,助理工程师,研究方向为电子设备结构设计.

参数和夹紧力作用下其最大变形量通过 Ansys 10.0 软件进行有限元仿真,如图 1 所示.

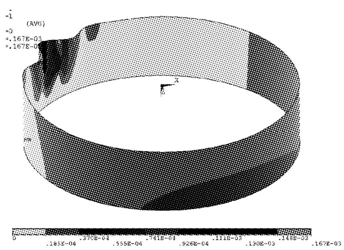

图 1　工件变形量的仿真

其最大变形量如表 1 所示.如何通过表 1 中数据求得 x_1、x_2、x_3、x_4、k 的值对工件在加工中的变形量分析是重要的一部分.

表 1　取不同加工参数时最大变形量的值

分析组数	a_p/mm	f_z/mm	v/(m/min)	F/N	y_{max}/mm
1	0.1	0.12	1 000	2 810	0.167
2	0.2	0.12	900	2 857	0.817
3	0.13	0.16	800	2 582	0.238
4	0.2	0.15	1 100	1 932	0.708
5	0.1	0.2	1 200	1 860	0.206
6	0.14	0.15	900	2 916	0.793
7	0.17	0.19	900	2 327	0.187
8	0.18	0.12	1 200	2 936	0.238
9	0.16	0.14	1 100	2 875	0.304
10	0.14	0.18	1 000	2 387	0.134

2　回归分析

2.1　回归分析方法简介

客观世界中普遍存在着变量间的关系,而变量间的关系一般可分为 2 类:确定性关系和非确定性关系.确定性关系:可以用函数来表示的变量间关系.非确定性关系:不能用函数来表示的变量间关系,也称为相关关系或统计关系.

所谓回归分析法是指,在掌握大量观察数据的基础上,利用数理统计方法建立因变量与自变量之间的回归关系函数表达式,或称为回归方程式.它是一种从事物因果关系出发进行预测的方法,根据统计资料来求得因果关系的相关系数,相关系数越大,说明因果关系越密切.通过相关系数就可确定回归方程,预测今后事物发展的趋势.

2.2　用回归分析方法求解

一般情况下,实际回归模型很少是线性回归,但可以经常把非线性模型转换为线性模型,转换方法通常是在方程两边取对数.在文中,a_p、f_z、v、F、y_{max}之间的关系是非线性的,由经验公式(1)确定它们之间的关系.对加工变形量的经验公式(1)两边分别取对数,将其变换为线性关系式,即可得到

$$\ln(y_{max}) = \ln(k) + x_1 \cdot \ln(a_p) + x_2 \cdot \ln(f_z) + x_3 \cdot \ln(v) + x_4 \cdot \ln(F) \tag{2}$$

建立线性回归方程的最有效方法为线性最小二乘法,将问题转化为寻求一组 k、a_p、f_z、v、F 值,使得 $g = \sum(y_{max} - y_{max_i})$有最小值的问题,其中 y_{max_i} 为y_{max}的第 i 个测得值.代入分析数据,求出系数 x_1、x_2、x_3、x_4.具体步骤如下

设 $a = a_p$;$b = f_z$;$c = v$;$d = \tau$;$e = y_{max}$,则式(2)可以表示为

$$\ln(e) = \ln(k) + x_1 \cdot \ln(a) + x_2 \cdot \ln(b) + x_3 \cdot \ln(c) + x_4 \cdot \ln(d) \tag{3}$$

由 $g = \sum(y_{max} - y_{max_i})$有最小值,可得出

$$\frac{\partial g}{\partial k} = 2\sum_{i=1}^{n}(k + a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 + d_i x_4 - e_i) = 0$$

$$\frac{\partial g}{\partial x_1} = 2\sum_{i=1}^{n}(k + a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 + d_i x_4 - e_i)a_i = 0$$

$$\frac{\partial g}{\partial x_2} = 2\sum_{i=1}^{n}(k + a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 + d_i x_4 - e_i)b_i = 0$$

$$\frac{\partial g}{\partial x_3} = 2\sum_{i=1}^{n}(k + a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 + d_i x_4 - e_i)c_i = 0$$

$$\frac{\partial g}{\partial x_4} = 2\sum_{i=1}^{n}(k + a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 + d_i x_4 - e_i)d_i = 0 \tag{4}$$

由式(4)可以得出

$$n * k + x_1\sum_{i=1}^{n}a_i + x_2\sum_{i=1}^{n}b_i + x_3\sum_{i=1}^{n}c_i + x_4\sum_{i=1}^{n}d_i = \sum_{i=1}^{n}e_i$$

$$n(\sum_{i=1}^{n}a_i + x_1\sum_{i=1}^{n}(a_i)^2 + x_2\sum_{i=1}^{n}(a_i b_i) + x_3\sum_{i=1}^{n}(a_i c_i) + x_4\sum_{i=1}^{n}(a_i d_i) = \sum_{i=1}^{n}a_i e_i$$

$$n\left(\sum_{i=1}^{n} b_i + x_1\sum_{i=1}^{n} a_ib_i + x_2\sum_{i=1}^{n}(b_i)^2 + x_3\sum_{i=1}^{n}(b_ic_i) + x_4\sum_{i=1}^{n}(b_id_i)\right) = \sum_{i=1}^{n} b_ie_i$$

$$n\left(\sum_{i=1}^{n} c_i + x_1\sum_{i=1}^{n} a_ic_i + x_2\sum_{i=1}^{n}(b_ic_i) + x_3\sum_{i=1}^{n}(c_i)^2 + x_4\sum_{i=1}^{n}(c_id_i)\right) = \sum_{i=1}^{n} c_ie_i$$

$$n\left(\sum_{i=1}^{n} d_i + x_1\sum_{i=1}^{n} a_id_i + x_2\sum_{i=1}^{n}(b_id_i) + x_3\sum_{i=1}^{n}(c_i, d_i) + x_4\sum_{i=1}^{n}(d_i)^2\right) = \sum_{i=1}^{n} d_ie_i \tag{5}$$

由式(5)可以得出

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} a_i & \sum_{i=1}^{n} b_i & \sum_{i=1}^{n} c_i & \sum_{i=1}^{n} d_i \\ n\sum_{i=1}^{n} a_i & \sum_{i=1}^{n}(a_i)^2 & \sum_{i=1}^{n} a_ib_i & \sum_{i=1}^{n} a_ic_i & \sum_{i=1}^{n} a_id_i \\ n\sum_{i=1}^{n} b_i & \sum_{i=1}^{n} a_ib_i & \sum_{i=1}^{n}(b_i)^2 & \sum_{i=1}^{n} b_ic_i & \sum_{i=1}^{n} b_id_i \\ n\sum_{i=1}^{n} c_i & \sum_{i=1}^{n} a_ic_i & \sum_{i=1}^{n} b_ic_i & \sum_{i=1}^{n}(c_i)^2 & \sum_{i=1}^{n} c_id_i \\ n\sum_{i=1}^{n} d_i & \sum_{i=1}^{n} a_id_i & \sum_{i=1}^{n} b_id_i & \sum_{i=1}^{n} c_id_i & \sum_{i=1}^{n}(d_i)^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} k \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} e_i \\ \sum_{i=1}^{n} a_ie_i \\ \sum_{i=1}^{n} b_ie_i \\ \sum_{i=1}^{n} c_ie_i \\ \sum_{i=1}^{n} d_ie_i \end{bmatrix} \tag{6}$$

整理得出

$$\begin{bmatrix} k \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} a_i & \sum_{i=1}^{n} b_i & \sum_{i=1}^{n} c_i & \sum_{i=1}^{n} d_i \\ n\sum_{i=1}^{n} a_i & \sum_{i=1}^{n}(a_i)^2 & \sum_{i=1}^{n} a_ib_i & \sum_{i=1}^{n} a_ic_i & \sum_{i=1}^{n} a_id_i \\ n\sum_{i=1}^{n} b_i & \sum_{i=1}^{n} a_ib_i & \sum_{i=1}^{n}(b_i)^2 & \sum_{i=1}^{n} b_ic_i & \sum_{i=1}^{n} b_id_i \\ n\sum_{i=1}^{n} c_i & \sum_{i=1}^{n} a_ic_i & \sum_{i=1}^{n} b_ic_i & \sum_{i=1}^{n}(c_i)^2 & \sum_{i=1}^{n} c_id_i \\ n\sum_{i=1}^{n} d_i & \sum_{i=1}^{n} a_id_i & \sum_{i=1}^{n} b_id_i & \sum_{i=1}^{n} c_id_i & \sum_{i=1}^{n}(d_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} e_i \\ \sum_{i=1}^{n} a_ie_i \\ \sum_{i=1}^{n} b_ie_i \\ \sum_{i=1}^{n} c_ie_i \\ \sum_{i=1}^{n} d_ie_i \end{bmatrix} \tag{7}$$

将表 1 中数据代入式(3),即可求出系数 k、x_1、x_2、x_3、x_4,从而得到加工参数 k、a_p、f_z、v、τ 与最大变形量 $y_{\max}$之间的经验公式.

通过计算机进行运算,得 $x_1 = 0.970\ 7$; $x_2 = 1.973\ 0$; $x_3 = 0.523\ 1$; $x_4 = -1.051\ 4$; $k = 0.999\ 7$. 代入变形公式中,可以得到

$$y_{\max} = 0.999\ 7 \times a_p^{0.970\ 7} \times f_z^{1.973\ 0} \times v^{0.523\ 1} \times F^{-1.051\ 4} \tag{8}$$

3 结　束　语

因 a_p、f_z、v 的取值范围由车床的性能决定,当其取某一加工参数进行加工时,对工件能接受的变形量,可确定工件所需夹紧力的大小,经分析,其关系如图 2 所示.

由图 2 可知,当夹具的夹紧力在 900～3 600 N 时,随着夹紧力的增加,工件的变形显著减小,在 3 600 N 以后则不明显.以上结论对夹具的设计及对工件的装夹有一定的指导意义.

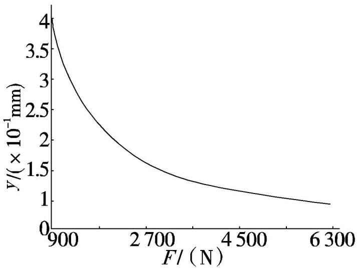

图 2　工件的夹紧力和变形量的关系

参考文献

[1]　吴勃英.数值分析[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.

[2]　刘尧.45 钢与铝合金 5A02 高速切削性能研究[M].沈阳:沈阳理工大学出版社,2004.

[3]　谢友宝.夹具夹紧方案优化设计[J].工具技术,2007,40(3):55－58.