

构建横向切削进给时的刀具使用寿命方程

李其钊¹, 潘 燕¹, 郭在云¹, 郭长宁²

(1. 云南能源职业技术学院 机电工程系, 云南 曲靖 655001; 2. 上海交通大学 机械动力学院, 上海 200030)

摘要:针对目前在横向切削进给时, 刀具耐用度没有明确计算公式的问题, 通过对横向车削进给磨损过程的研究, 分析了切削用量(切削速度 v_c 、进给量 f 、背吃量 a_p) 对磨损的影响, 根据泰勒 (F. W. Taylor) 公式, 建立起了切削用量与刀具使用寿命方程式。在 CY6140 车床上, 用 YT5 硬质合金车刀, 按 $v_{cmax} = 175 \text{ m/min}$, $f = 0.2 \text{ mm/r}$, $a_p = 5 \text{ mm}$ 参数对碳素钢进行了横向切削进给切槽实验 30 次。研究表明, 在横向切削进给时, 建立的刀具使用寿命方程是可行的。

关键词:构建; 刀具; 寿命; 方程

中图分类号:TH117; TG712

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)04-0425-04

Establishment of the working life equation of cross-cutting feed

LI Qi-fan¹, PAN Yan¹, GUO Zai-yun¹, GUO Chang-ning²

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Yunnan Vocational Institute of Energy Technology, Qujing 655001, China; 2. College of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Aiming at the problems that there is no equation for cross-cutting feed to calculate the durability of cutter, by researching the wear process of crossing-cutting feed, the wear influenced by cutting data (cutting speed v_c , feed data f , cutting depth a_p) was analyzed. According to F. W. Taylor, equation to calculate the working life of cutting data and cutter was established. In CY6140 lathe, turning tools with carbide YT5, the parameters of the carbon steel cross-cutting feed ($v_{cmax} = 175 \text{ m/min}$, $f = 0.2 \text{ mm/r}$, $a_p = 5 \text{ mm}$) were taken for grooving experiment 30 times. The results indicate that equation for cross-cutting feed to calculate the working life of cutter according is feasible.

Key words: establish; cutter; life; equation

0 引 言

在金属切削加工过程中, 刀具将金属切屑切离工件时, 产生摩擦, 同时刀具发生磨损现象。磨损是一个连续的、逐渐扩展的过程。磨损时存在着机械的、物理的和化学的作用, 它对切削加工的效率、产品的质量和生产的成本都有直接的影响。在车床上切端面、切槽、切断的工作过程中, 由于刀具周围都与被加工工件接触, 使得刀具工作条件差(切削力大、摩擦面积大、散热条件差、排屑困难等), 刀具磨损比一般情况严重; 并且, 刀具磨损情况也随被加工工件尺寸的改变而变化。因此, 分析横向切削进给时刀具的磨损情况, 构建其使用寿命方程, 是非常必要的。

本研究主要探讨构建横向切削进给时的刀具使用寿命方程。

1 分析横向切削进给时刀具的磨损

刀具在切削过程中的磨损分为初期磨损(I)、正常磨损(II)、急剧磨损(III)等 3 个阶段(如图 1 所示)。在初期磨损阶段, 磨损速度较快, 其主要原因是刀具后刀面粗糙、氧化、切削刃锋利(单位面积承载小)。在正常磨损阶段, 刀具磨损比较缓慢, 后刀面的磨损量与切削时间近似成正比增加。在急剧磨损阶段, 刀具磨损带增加到一定限度, 切削力和切削温度迅速增加, 磨损急剧增大, 刀具不能正常工作, 必须换刀具^[1]。

刀具使用寿命通常亦称为刀具耐用度, 它是衡量刀具材料切削性能优劣的综合指标。刀具使用寿命 $T(\text{min})$ 是指刀具两次刃磨之间实际进行切削的时间。在同等条件下, 刀具耐用度高, 表示刀具耐磨性好, 使用寿命长; 刀具耐用度低, 表示刀具不耐磨, 使用寿命

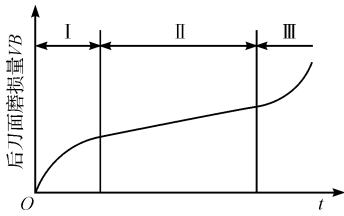


图 1 刀具的磨损曲线

短。通常切削强度和硬度高、塑性和韧性好的金属材料,其切削温度高,磨损大;刀具角度小(前角 γ_0 、后角 α_0 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 、刃倾角 λ_s)的,其摩擦大,温度高,磨损快;切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 越大,切削时间 t 越长,磨损越快^[2]。由于影响刀具磨损的因素较多,产生的磨损较复杂,笔者只研究切削用量与刀具使用寿命的关系。

2 建立横向切削进给时刀具的使用寿命方程式

2.1 刀具的使用寿命基本方程

实际上发生急剧磨损后,加工工件的精度、表面质量都受到影响,所以,必须在发生急剧磨损前就换刀。这里只研究在初期磨损和正常磨损的情况下,切削用量与刀具寿命的关系。

实际生产中,切削速度越高,刀具使用寿命越低。通过试验可得^[3]:

$$AT^m = C_0 \quad (1)$$

式中: A —表示切削用量; T —刀具使用寿命, min; m —指数,表示切削用量 A 对 T 的影响程度; C_0 —系数,与刀具、工件材料和切削条件有关。

式(1)为刀具使用寿命公式,称为泰勒(F. W. Taylor)公式。

根据式(1)可以建立切削速度与使用寿命之间的关系,如式(2)所示,并绘制出关系图(如图2所示),它在双对数坐标上是一条直线, C_0 为直线在纵坐标上的截距, m 为直线斜率。同样也可以求出进给量 f 、背吃量 a_p 与使用寿命 T 的之间的关系式(3,4),并绘制相应的关系图(省略)。即:

$$v_c \times T^{m_1} = C_1 \text{ 或 } T^{m_1} = \frac{C_1}{v_c} \quad (2)$$

$$f \times T^{m_2} = C_2 \text{ 或 } T^{m_2} = \frac{C_2}{f} \quad (3)$$

$$a_p \times T^{m_3} = C_3 \text{ 或 } T^{m_3} = \frac{C_3}{a_p} \quad (4)$$

式中: v_c —工件切削速度, m/min; f —进给量, mm/r;沿工件直径方向,垂直于轴线; a_p —背吃量, mm, 平行于工件轴线(切槽时为槽宽); m_1 — v_c 对 T 的影响程度; m_2 — f 对 T 的影响程度; m_3 — a_p 对 T 的影响程度; C_1 、

C_2 、 C_3 —系数,与刀具、工件材料和切削条件有关。

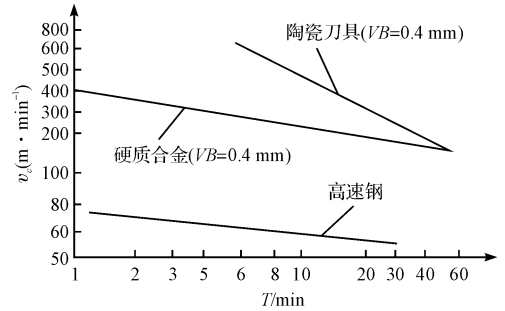


图 2 不同刀具材料的刀具使用寿命比较

由式(2,3,4)分别开方并乘积得:

$$T^3 = \left(\frac{C_1}{v_c}\right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot \left(\frac{C_2}{f}\right)^{\frac{1}{m_2}} \cdot \left(\frac{C_3}{a_p}\right)^{\frac{1}{m_3}} \quad (5)$$

将式(5)再开三次方得:

$$T = \frac{C_1^{\frac{1}{3m_1}} \cdot C_2^{\frac{1}{3m_2}} \cdot C_3^{\frac{1}{3m_3}}}{v_c^{\frac{1}{3}} \cdot f^{\frac{1}{3}} \cdot a_p^{\frac{1}{3}}} \quad (6)$$

令 $\alpha_1 = 1/3m_1$, $\alpha_2 = 1/3m_2$, $\alpha_3 = 1/3m_3$, $C_T = C_1^{\frac{1}{3m_1}} \cdot C_2^{\frac{1}{3m_2}} \cdot C_3^{\frac{1}{3m_3}}$, 则切削用量与使用寿命的一般关系式为^[4-5]:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{\alpha_1} f^{\alpha_2} a_p^{\alpha_3}} \quad (7)$$

式中: C_T —使用寿命系数,与刀具、工件材料和切削条件有关; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ —分别表示各切削用量对刀具使用寿命的影响程度; $C_T, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ —待定常数,根据实验数据通过多元回归分析获得。

式(7)称为刀具的使用寿命基本方程,亦称为泰勒公式。

2.2 横向切削进给时刀具的使用寿命方程式

横向进给切削时,刀具切削点沿横向水平运动,被加工工件的径向尺寸由大向小变化,圆周上的切削速度 v_c 也在变化,由理论力学知识,速度在切削断面成三角形分布,因此,工件截面圆周上的平均切削速度为^[6-7]:

$$v_{cp} = \frac{1}{2} v_{cmax} \quad (8)$$

式中: v_{cp} —横向切削进给圆周上的平均切削速度, m/min; v_{cmax} —横向切削进给圆周上的最大切削速度, m/min。

2.2.1 初期磨损阶段时刀具的使用寿命方程

初期磨损阶段,由于刀具后刀面粗糙、氧化、切削刃锋利、单位面积载荷大,所以,在短时间内,刀刃磨损大,刀具磨损速度较快。由式(7,8)可得,这一阶段刀具的使用寿命 T_s 为:

$$T_s = \frac{C_{T1}}{v_c^{\alpha_1} f^{\alpha_2} a_p^{\alpha_3}} = \frac{C_{T1}}{\left(\frac{1}{2} v_{cmax}\right)^{\alpha_1} f^{\alpha_2} a_p^{\alpha_3}} \quad (9)$$

式中: T_s —刀具初期磨损阶段的使用寿命, min; C_{T1} —刀具初期磨损阶段的使用寿命系数,与刀具、工件材料

和切削条件有关;其他参数含义同上。

2.2.2 正常磨损阶段时刀具的使用寿命方程

正常磨损阶段,刀具磨损比较缓慢,其寿命方程由式(7,8)可得:

$$T_n = \frac{C_{T2}}{v_c^{\alpha_1} f^{\alpha_2} a_p^{\alpha_3}} = \frac{C_{T2}}{\left(\frac{1}{2} v_{cmax}\right)^{\alpha_1} f^{\alpha_2} a_p^{\alpha_3}} \quad (10)$$

式中: T_n —刀具正常磨损阶段的使用寿命, min; C_{T2} —刀具正常磨损阶段的使用寿命系数,与刀具、工件材料和切削条件有关;其他参数含义同上。

刀具刃磨一次后的使用寿命为:

$$T_c = T_s + T_n \quad (11)$$

式中: T_c —刀具刃磨一次后的使用寿命, min;其它参数含义同上。

由式(11)可知,刀具刃磨一次后的使用寿命等于刀具这次初期磨损阶段的使用寿命与刀具正常磨损阶段的使用寿命和。

3 刀具的总使用寿命方程

通过以上分析,刀具总使用寿命 T_t (多次刃磨直到报废) 等于每刃磨一次的初期磨损阶段使用寿命的代数和与每刃磨一次的正常磨损阶段使用寿命的代数和的总和,为:

$$T_t = \sum T_s + \sum T_n \quad (12)$$

4 横向进给切槽实验

在CY6140车床上,采用YT5硬质合金车刀,按参数 $v_{cmax} = 175 \text{ m/min}$, $f = 0.2 \text{ mm/r}$, $a_p = 5 \text{ mm}$ 对碳素钢进行横向进给切槽实验。在30次实验中,每切断一次表示一次实验完成,在不进行刀具刃磨的情况下,继续进行下一次切断。工件直径 $d = 100 \text{ mm}$,每次切断需27 s,每隔10 s对刀具磨损量进行一次测量,每次切槽时间内测量3次。取粗车硬质合金刀具磨损量极限(磨钝标准) $W_{jx} = 0.3 \text{ mm}$,刀具初期磨损量按粗糙度值考虑,取 $W_{cq} = 0.05 \text{ mm}$ 。

大量试验表明,刀具磨损量与切削用量及切削时间成幂函数关系,其关系式(也称泰勒公式)为:

$$W = C_0 v_c^{\beta_1} f^{\beta_2} a_p^{\beta_3} t^{\beta_4} \quad (13)$$

$$t = \frac{W^{\frac{1}{\beta_4}}}{(C_0 v_c^{\beta_1} f^{\beta_2} a_p^{\beta_3})^{\frac{1}{\beta_4}}} \quad (14)$$

由式(14)可得,刀具使用寿命方程为:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{\alpha_1} f^{\alpha_2} a_p^{\alpha_3}} \quad (15)$$

式中: v_c —工件切削速度, m/min; f —进给量, mm/r, 沿工件直径方向,垂直于轴线; a_p —背吃量,平行于工件

轴线, mm; $C_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ —待定常数,根据实验数据通过多元回归分析获得。其他参数含义同上。

根据磨损量的计算结果,通过多元回归分析,得到 $C_0 = 3.56 \times 10^{-5}$, $\beta_1 = 1.45$, $\beta_2 = 0.51$, $\beta_3 = 0.43$, $\beta_4 = 0.66$ 。 $C_T = (W^*/C_0)^{\frac{1}{\beta_4}}$, $\alpha_1 = \beta_1/\beta_4 = 2.2$, $\alpha_2 = \beta_2/\beta_4 = 0.77$, $\alpha_3 = \beta_3/\beta_4 = 0.65$, 其含义同上。 W^* —刀具使用寿命期内的最大磨损量, mm。

磨损量方程为:

$$W = 3.56 \times 10^{-5} v_c^{1.45} f^{0.51} a_p^{0.43} t^{0.66} \quad (16)$$

刀具使用寿命方程为:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{2.2} f^{0.77} a_p^{0.65}} \quad (17)$$

通过以上实验表明,切削速度 v_c 对刀具使用寿命的影响最大,进给量 f 次之,背吃刀量 a_p 最小,但 α_2 和 α_3 相差较小,表明切槽宽度对使用寿命的影响在增大。同样实验条件下,外圆切削时切削用量对刀具耐用度的影响系数: $\alpha_1 = 2.18$, $\alpha_2 = 0.75$, $\alpha_3 = 0.62$, 都比切槽时的小,表明外圆切削时切削用量的影响没有切槽时大,而刀具磨损程度切槽比外圆切削快(如图3所示),刀具使用寿命外圆切削较切槽长。主要原因是由于切槽时刀具接触面大,切削力大,摩擦大,散热慢。当初期磨损阶段磨损量取 $W_{cq} = 0.05 \text{ mm}$, 则 $C_{T1} = 6.01 \times 10^4$; 正常磨损阶段磨损量极限取 $W_{jx} = 0.3 \text{ mm}$, 则 $C_{T2} = 8.6 \times 10^5$ 。

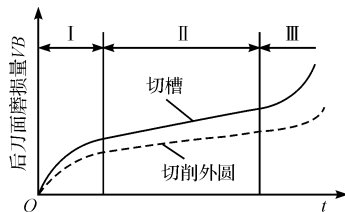


图3 切槽与切削外圆时刀具磨损比较

由式(9)可得:

$$T_s = \frac{6.01 \times 10^4}{\left(\frac{1}{2} \times 175\right)^{2.2} \times 0.2^{0.77} \times 5^{0.65}} = 3.9 \text{ min}$$

由式(10)可得:

$$T_n = \frac{8.6 \times 10^5}{\left(\frac{1}{2} \times 175\right)^{2.2} \times 0.2^{0.77} \times 5^{0.65}} = 57.2 \text{ min}$$

由式(11)可得:

$$T_c = 3.9 + 57.2 = 61.1 \text{ min}$$

计算结果表明:刀具在切槽加工61.1 min 时间后需要进行刃磨。与车刀的经济耐用度 $T_j = 60 \text{ min} \sim 90 \text{ min}$ 相吻合,但还是偏低。原因是经济耐用度是由切削条件较好的外圆切削而定。

5 结束语

本研究利用外圆切削进给时刀具的使用寿命方程,建立起了横向切削进给时刀具的使用寿命方程,并应用于横向切槽的实验中,其实验结果与图 2 相吻合,表明在横向切削进给时刀具的使用寿命,按照式(9~11)计算是可行的,因此,可作为自动化切削加工过程设计、监控和修正的参考^[8],也可作为智能制造系统判断刀具磨损、更换而做出智能决策、控制的依据^[9-10]。

参考文献 (References) :

[1] 郭卫凡,李其钜. 金属工艺学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2006.
 [2] 李 华. 机械制造技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2005.

[3] 张世昌,李 旦,高 航,等. 机械制造技术基础[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2007.
 [4] 倪文馨. 可靠性工程与机械维修[M]. 武汉:武汉水运学院出版社,1983.
 [5] 张世昌. 机械制造技术基础[M]. 天津:天津大学出版社,2002.
 [6] 卢秉恒. 机械制造技术基础[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
 [7] 李其钜. 横向进给切削加工时切削力的分析[J]. 云南能源职业学院学报,2005(3):11-13.
 [8] 赵艺兵. 数控车床刀具补偿技术的研究[J]. 机电工程,2007,24(11):67-69.
 [9] TSUKUNE H, TSUKAMOTO M, MATSUSHITA T, et al. Modular manufacturing[J]. **Journal of Intelligent Manufacturing**,1993(4):163-181.
 [10] HATAMURA Y, NAGAO T, MITSUISHI M. A fundamental structure for IM[J]. **Precision Engineering**,1993,15(4):266-273. [编辑:柴福莉]

(上接第 396 页)

态的阻尼比为 0.035 8%。根据图 12 中 IMF1 的幅值自然对数拟合曲线的斜率,由式(18)计算可得简支梁第 3 阶模态的阻尼比为 0.035 7%;由于振幅衰减因子很小,在所计算的时间范围内第 1 阶振动模态成分的幅值衰减很小,因此 IMF2 的幅值自然对数拟合曲线的斜率几乎为零,从而导致无法识别出第 1 阶模态的阻尼比。各方法的模态参数辨识结果如表 3 所示。

表 3 简支梁系统的各阶固有频率与阻尼比

方法	理论值		模态分析		瞬态分析	EMD 方法
	f/Hz	阻尼比/(%)	f/Hz	f/Hz	f/Hz	阻尼比/(%)
1 阶	50.49	0.004 0	51.02	50.97	/	/
3 阶	454.4	0.035 8	458.92	458.13	0.035 7	

4 结束语

机械系统的振动模态分析是结构动力学研究的基础,具有十分重要的实际意义。本研究基于 EMD 开展了机械系统的振动模态分析,探讨了机械振动系统的模态与 EMD 分解所得的 IMF 之间的物理关系。

通过对多自由度系统受脉冲激励作用后的振动响应特性分析及仿真信号的 EMD 分析,探索利用 EMD 方法进行模态参数识别的可行性与有效性。以简支梁为对象,对其附加脉冲激励作用后,给出了系统振动模态特性的理论结果。然后,使用 ANSYS 有限元软件进行模态分析与瞬态动力学分析。最后,利用 EMD 方法对结构的瞬态动力学响应进行分析以识别系统模态参数。通过比较基于理论、ANSYS 有限元分析和 EMD 方法等三方面研究结果后发现,EMD 方法可有效识别简支梁振动的模态参数。

参考文献 (References) :

[1] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. **Proceedings of the Royal Society of London Series a-Mathematical Physical and Engineering Sciences**,1971(454):903-995.
 [2] LI H, DENG X, DAI H. Structural damage detection using the combination method of EMD and wavelet analysis[J]. **Mechanical Systems and Signal Processing**,2007,21(1):298-306.
 [3] 程军圣,于德介,杨 宇. EMD 方法在转子局部碰摩故障诊断中的应用[J]. 振动、测试与诊断,2006,26(1):24-27.
 [4] 胡劲松,杨世锡. 基于自相关的旋转机械振动信号 EMD 分解方法研究[J]. 机械强度,2007,29(3):376-379.
 [5] YANG J N, LEI Y, PAN S W, et al. System identification of linear structures based on Hilbert-Huang spectral analysis. Part 1: normal modes[J]. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**,2003,32(9):1443-1467.
 [6] YANG J N, LEI Y, LIN S L, et al. Identification of natural frequencies and dampings of in situ tall buildings using ambient wind vibration data[J]. **Journal of Engineering Mechanics-Asce**,2004,130(5):570-577.
 [7] 师汉民. 机械振动系统—分析·测试·建模·对策[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2004.
 [8] 于德介,程军圣,杨 宇. 机械故障诊断的 hilbert-huang 变换方法[M]. 北京:科学出版社,2006.
 [9] YANG J N, LEI Y, PAN S W, et al. System identification of linear structures based on Hilbert-Huang spectral analysis. Part 2: complex modes[J]. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**,2003,32(10):1533-1554.
 [10] 付 春,姜绍飞,杜 权. 基于改进 EMD 的结构模态参数识别方法[J]. 武汉理工大学学报,2010,225(9):280-285. [编辑:柴福莉]