

柔性制造系统切削稳定性在线监测技术的研究*

曲兴田 吴博达

刘晓春

(吉林工业大学机械系, 长春130025) (大连旅顺汽车配件厂, 大连116044)

摘要 主要讨论柔性制造系统(FMS)切削稳定性的在线监测方法, 在研究 FMS 切削过程中振动信号变化规律的基础上^[1], 提出了用 $\mu = E(a)/F(a)$ 作为 FMS 切削稳定性的监测参数, 并进行了理论分析和试验验证。

关键词: 柔性制造系统, 切削稳定性, 在线监测, 监测参数

1 引言

八十年代中期以来, 随着计算机集成制造系统的开发, 柔性制造系统(FMS)已开始从试验和示范走向实用化阶段。为了确保这些无人参与的自动化加工过程能够安全可靠地运行, 需对切削过程的状态进行监测, 保证自动化加工质量。九十年代, 加工过程监测是柔性制造系统的主要研究内容之一。迄今为止, 对普通机床的切削稳定性研究已取得了一定的成果^[2-3]。但由于自动化机床与普通机床的差异较大, 因此还没有人把切削过程稳定性监测应用到自动化加工系统中。因此, 对 FMS 的稳定性监测的研究成了自动化加工中必不可少的部分。

2 理论分析

通过对 FMS 的数控车床和立式铣削加工中心的切削稳定性试验进行分析的基础上, 发现切削过程失稳是具有一段过程的, 经历了从平稳到失稳的过渡过程。在平稳切削过程中, 时域信号幅值较小, 呈现明显的随机分布特征。在失稳切削过程中, 信号时域的周期性非常明显, 振动幅值较大。因此, 可以在过渡切削过程实现对 FMS 切削稳定性进行在线监测。

正确选择监测参数是 FMS 在线监测的关键, 因此确定的监测参数必须充分反映切削过程稳定性的本质和特征; 具有相当快的运算速度; 门限值容易设定, 即准确反映切削过程稳定性的状态。

本文依据 FMS 的切削过程中失稳前后振动信号 $y(t)$ 在时域的变化特征, 图 1a 表示平稳切削过程中振动信号 $y(t)$ 在时域中的分布没有任何规律, 呈明显的随机分布状态, 即随机过

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1996年1月8日

程 $y(t)$ 每两次穿越水平 $y = 0$ 之间都具有大量的峰和谷。图 1b 表示在失稳切削过程中, 振动信号 $y(t)$ 在时域中完全呈周期分布, 即随机过程 $y(t)$ 每两次穿越水平 $y = 0$ 之间都具有唯一的峰或谷。因此本文利用随机过程 $y(t)$ 穿越水平 $y = 0$ 的次数与随机过程 $y(t)$ 的峰谷数之和的比值来构造 FMS 切削稳定性的监测参数。另外从图 1a 还可看出, $y(t)$ 穿越 $y = \alpha$ 的次数远少于 $y(t)$ 穿越 $y = 0$ 的次数。而图 1b 中 $y(t)$ 穿越 $y = \alpha$

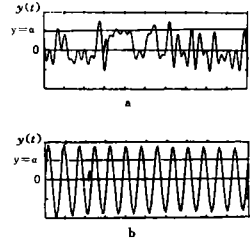


图 1 信号的时域图

Fig. 1 The graph of signal time domain

的次数与 $y(t)$ 穿越 $y = 0$ 的次数是相等的。由此可看出, 利用 $y(t)$ 穿越 $y = \alpha$ 的次数与 $y(t)$ 穿越 $y = 0$ 所对应的峰谷数之和的比值做为 FMS 切削稳定性的监测参数要比前面构造的监测参数更为有效。因为这样会使平稳切削过程的监测参数计算值更小, 更能远离设定的门限值。设

$$\mu_a = \frac{E(a)}{F_x(0)} \quad (1)$$

式中 μ_a 表示随机过程 $y(t)$ 穿越某水平 $y = \alpha$ 的频数与随机过程 $y(t)$ 穿越水平 $y = 0$ 所对应的峰谷之和的比值, 简称过限频数比。

$E(a)$ 表示 $y(t)$ 穿越水平 $y = \alpha$ 的频数。

$F_x(0)$ 表示 $y(t)$ 穿越水平 $y = 0$ 所对应的峰谷数之和。

另外, 由于 $y(t)$ 的峰谷点实际上就是 $y(t)$ 的一阶导数 $\dot{y}(t) = 0$ 的点, 二者是一一对应的, 因此, $y(t)$ 在采样周期内的峰谷数之和与 $\dot{y}(t)$ 穿越 $\dot{y} = 0$ 的频数相等。因此上式可化为

$$\mu_a = E(a)/F(0) \quad (2)$$

式中 $F(0)$ 表示随机过程 $y(t)$ 穿越水平 $y = 0$ 的频数。

如果在时间间隔 $(t, t + dt)$ 内存在

$$\begin{cases} y(t) \geq \alpha \\ y(t + dt) < \alpha \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} y(t) < \alpha \\ y(t + dt) \geq \alpha \end{cases}$$

则认为 $y(t)$ 穿越了水平 $y = \alpha$ 一次

同理, 若

$$\begin{cases} \dot{y}(t) \geq 0 \\ \dot{y}(t + dt) < 0 \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} \dot{y}(t) \leq 0 \\ \dot{y}(t + dt) > 0 \end{cases}$$

则认为 $\dot{y}(t)$ 穿越水平 $\dot{y} = 0$ 一次。

令 $E^+(a, t)dt$ 表示在时间间隔 $(t, t + dt)$ 内的正穿越水平 $y(t) = \alpha$ 的频数。

$$E^+(a, t)dt = P[\{y(t) < \alpha\} \cap \{\dot{y}(t)dt \geq \alpha - y(t)\}] \quad (3)$$

经数学变换后

$$E^+(a, t) = \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{y}| P(0, \dot{y}, t) d\dot{y} \quad (4)$$

$E(a, t)$ 表达了穿越水平 $y = \alpha$ 的期望率, 因此在时间 T 内跨越的期望数可表示为

$$E(a, T) = N(a, t) \cdot T \quad (5)$$

经整理得

$$E(\alpha, T) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sigma_y^2}{\sigma_y} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma_y^2}\right) \tag{6}$$

$$F(0) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sigma_{\dot{y}}}{\sigma_y} \tag{7}$$

式中

σ_y 为信号 $y(t)$ 的方差。

$\sigma_{\dot{y}}$ 为信号 $y(t)$ 一阶导数的方差。

$\sigma_{\ddot{y}}$ 为信号 $y(t)$ 二阶导数的方差。

从而知道

$$\mu_a = \frac{\sigma_{\dot{y}}}{\sigma_y \cdot \sigma_y} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma_y^2}\right) \tag{8}$$

从上式看出 μ_a 只取决时域信号的方差,从而可认为 μ_a 与振动幅值具有内在的联系。

从上面分析可看出,在平稳切削过程中 μ_a 值一般较小,接近于零;而在失稳切削过程中 $\mu_a = 1$,从而可知 μ_a 始终在 0~1 之间变化, μ_a 的大小仅与切削过程的稳定性有关。因此,用 μ_a 作为监测参数,其门限值比较容易设定。

另外,由于 $\mu_a = E(\alpha)/F(0)$,而 $E(\alpha)$ 与 $F(0)$ 完全可以在采样过程中经过符号判断得到,因此监测系统一次计算 μ_a 的时间是非常短的,大大小于颤振的孕育时间。

3 试验结果

在 FMS 上利用微机对切削稳定性进行在线监测与控制。

图2是通过试验测得的一组 μ_a 与振动幅值 A 的对应关系图。可以看出,在平稳切削过程中振动幅值较小,此时监测参数 μ_a 的数值亦较小,随着振动幅值的增大,监测参数 μ_a 的值亦随着增大,当振幅达到某一数值时,监测参数 $\mu_a = 1$ 。从图2看出 μ_a 与 A 具有一一对应关系。多次试验结果均表明, μ_a 只与振幅 A 的大小有关,与加工条件无关。

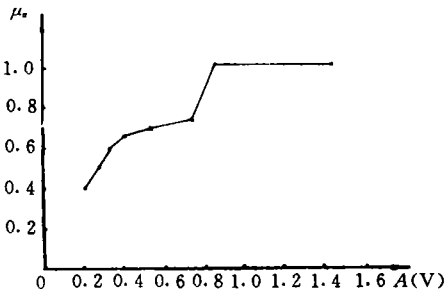


图2 μ_a -A 对应关系

Fig. 2 μ_a -A corresponding relation

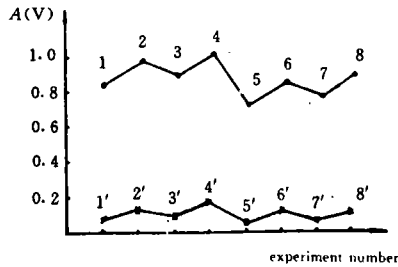


图3 在线监测与无在线监测效果对比试验

Fig. 3 The experiment of contrasting on-line monitor control with no on-line monitor control

图3是 FMS 切削过程中无在线监测和有在线监测切削时记录下的八组试验的振动幅值。每组试验的条件完全相同,但振动幅值的大小差别很大。无在线监测时,振幅较大,而在有在线监测时,振动幅值很小。1~8号试验为无在线监测切削试验结果,1'~8'号试验为有在线监测试验结果。

试验条件:工件材料45钢,工件直径 $\varphi 45$ mm,刀具材料YT15,切削用量: $n=800$ r/min, $a_p=0.2$ mm, $v_f=20$ mm/min。刀具角度 $\gamma_0=10^\circ$, $\alpha=7^\circ$ 。

图4是与图3相对应的二组试验的结果图。图4a是无在线监测切削时的3号试验和有在线监测切削的3'号试验结果,可以看出3号试验的振动幅值远大于3'号试验的振动幅值;图4b是无在线监测切削时的2号试验和有在线监测切削的2'号试验结果,前者的振动幅值远大于后者。两组试验结果足以说明在FMS上进行在线监测的实际意义。

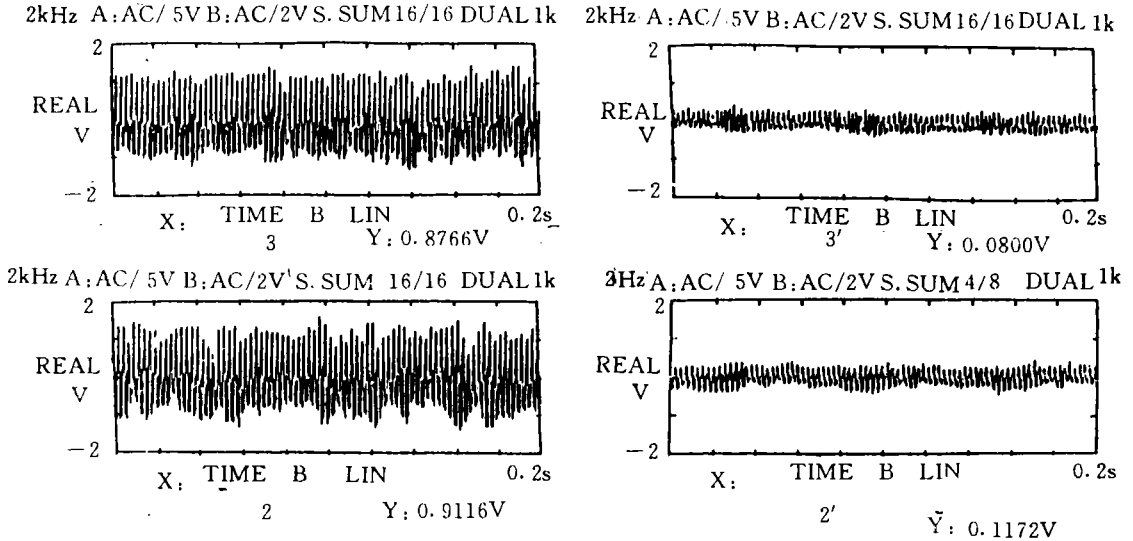


图4 振动响应时域图

Fig. 4 The time domain graph of vibration respond

参 考 文 献

- [1] 曲兴田, FMS 振动信号的特征分析. 汽车工艺及材料, 1995, (9): 41-46
- [2] 于骏一, 切削颤振的预报控制. 振动工程学报, 1990, 3(1): 72-78
- [3] 包善斐, 机械加工振动的预报控制新方法. 科学通报, 1992, 37(4): 373-375

Studying of On-line Monitor Control Technology about FMS Cutting Stability

Qu Xingtian, Wu Boda and Liu Xiaochun*

(Department of Mechanical Engineering,
Jilin University of Technology, Changchun 130025)

(* Dalian-lushun factory of a automobile fitting, Dalian 110064)

Abstract

In this paper, the way is emphatically discussed about on-line monitor control of FMS

cutting stability. On the basis of varying regularity of vibration signal in the process of studying FMS cutting using $\mu_\alpha = E(\alpha)/F(\alpha)$ is presented as the monitoring coefficient of FMS cutting stability, and the theory analysis is carried out, and the verifying experiments are made.

Key words: FMS, Cutting stability, On-line monitor control, Monitoring coefficient

曲兴田 男,1962年生,1993年毕业于吉林工业大学机械工程系,获工学硕士学位,现为吉林工业大学机械制造工艺与设备专业讲师。主要从事机械动力学与FMS加工过程监测的研究。“切削稳定性在线监测监控技术的研究”曾获机械工业部科技进步二等奖,目前已发表论文十余篇。