

# 金属切削颤振的识别、预报与控制

吴清文

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

勾治践

(吉林工业学院机械工程系, 长春 130012)

**摘要** 本文对国内外学者在切削颤振的识别、预报和控制方面所做的主要工作进行了概括和总结, 并对其优缺点进行了分析。

**关键词:** 切削颤振; 识别; 预报; 控制

## 1 引言

机床在切削过程中的颤振是指在没有周期性外力(相对于切削过程而言)作用下, 刀具与工件之间有强烈振动, 并且在工件表面留下明显、规则的振纹的现象, 它不仅降低了机械加工质量和切削效率, 而且对机床和刀具的使用寿命带来了不利影响, 还产生了恶化环境的噪声。自1907年泰勒(Taylor)提出颤振概念以来, 随着科学技术的不断发展及其对产品质量要求的不断提高, 国内外众多学者对金属切削过程中的颤振进行了深入广泛的研究, 并且涌现出了许多学派, 它们各自阐述了自己对颤振特性及其机理的看法。据此大致可以把颤振分成再生型、振型耦合型、摩擦型、滞后型、刀具角度变化型、混合型等几种颤振类型<sup>[1]</sup>。

对颤振机理的研究为颤振的识别、预报与控制奠定了良好的基础。切削颤振的预报要及时、可靠, 即在颤振尚未发生之前就要发出预报信号; 同时不要产生误报、漏报现象; 还要兼顾实用性, 即通用性要强, 所用设备要少。在众多的方法中, 有分别对各种颤振类型“对症下药”的; 有不论颤振机理如何, 仅仅为控制颤振而采取适当措施的; 也有综合考虑数种颤振的切削效应而进行颤振识别、预报与控制的。下面将分别说明各种方法。

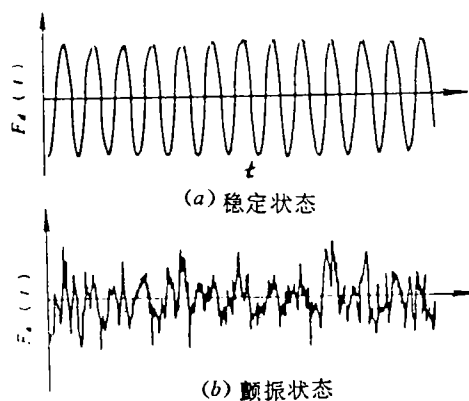


图1 动态切削力—时间图

## 2 信号不规则度判别法

### 2.1 $\theta$ 法

切削加工过程中颤振的形成和发展具有三个不同的过程,即稳定切削过程、过渡过程和稳定的颤振过程。在稳定切削过程中,动态切削力  $F_d$  较小,其值并不规律,如图 1(a) 所示,而当处于稳定颤振态以后,它却非常规则,呈现明显的周期性,如图 1(b) 所示。设  $R$  为  $F_d$  的每秒穿越零值次数,  $Q$  为  $F_d$  的每秒峰值和谷值次数之和。由于稳定切削过程中  $F_d$  信号为随机信号,  $\theta = R/Q \ll 1$ , 而颤振过程中  $\theta = R/Q \approx 1$ , 所以可以根据这一特性进行颤振识别和预报。实际应用时取

$$\theta = \frac{2 \sum_{i=1}^n z(t_i) - 2 \sum_{i=1}^n z(t_i)z(t_{i-1}) - z(t_1) - z(t_n)}{2 \sum_{i=1}^n z'(t_i) - 2 \sum_{i=1}^n z'(t_i)z'(t_{i-1}) - z'(t_1) - z'(t_n)}$$

$$\text{式中 } z(t_i) = \begin{cases} 1 & F_d(t_i) \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \\ 0 & F_d(t_i) < 0, \end{cases}$$

$$z'(t_i) = \begin{cases} 1 & F_d(t_i) - F_d(t_{i-1}) \geq 0 \quad i = 2, 3, \dots, n \\ 0 & F_d(t_i) - F_d(t_{i-1}) < 0, \end{cases}$$

假如设置门限值  $\theta$  为 0.85 (一般取为 0.8~0.9), 则当实际  $\theta$  值超过该门限值时控制系统就“报警”, 发出控制信号, 并通过调节主轴转速来控制颤振的发生。控制方案如图 2 所示<sup>[2][3]</sup>。

### 2.2 过零法

过零法的原理与  $\theta$  法基本类似, 检测振动信号中的周期分量, 并按一定频率进行采样, 获得采样信号, 利用零点计数器和波长计数器记录每相邻两次过零的跃变间隔时间  $z_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。如果被测信号满足

$$1 - P\% < \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{nz_1} < 1 + P\% \quad (P \text{ 为门限值})$$

则说明强烈的周期信号已经存在, 颤振即将发生。这时系统必须发出控制信号对切削过程进行控制, 避免颤振发生<sup>[4]</sup>。

这两种方法的共同点在于都需要采集现场信号, 进行数值处理, 然后获得系统稳定性程度的量化参数, 从而对颤振进行识别、预报和控制, 可以用于不同的刀具-工件系统。它们都需要预先设置控制门限值, 如果门限值设置不妥则很可能导致误报、漏报和迟报等, 因而这两种方法较适合于批量生产和柔性加工系统。

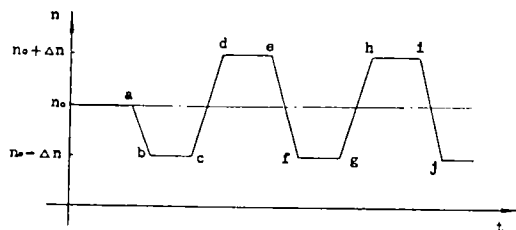


图 2 转速控制方式

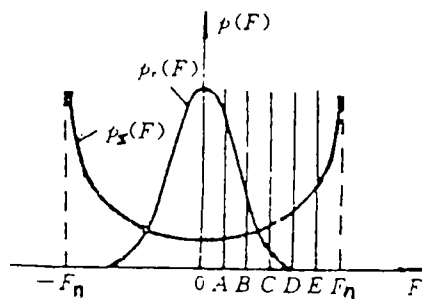


图 3 构造预报参数  $H$  的原理图

由于它们采用 0、1 代码进行二进制运算,大大提高了运算速度,能迅速及时地预报切削颤振。相比之下, $\theta$ 法优于过零法,因为 $\theta$ 的计算时间主要取决于采样时间,其中比较、乘积和求和运算完全能在每个采样周期内完成。

另外,在切削过程中动态切削力 $F_d = F_r + F_i$ ,其中 $F_r$ 为随机分量, $F_i$ 为正弦分量。系统由稳定状态逐渐过滤到颤振状态的过程中,正弦周期信号和随机信号的概率密度在不断变化,计算 $F_d$ 的概率密度函数 $p(F_d)$ ,就是求卷积 $P(F_r) * p(F_i)$ 。由于稳定切削时动态切削力越靠近均值概率密度值越大,相反颤振时越靠近均值概率密度值越小,如图 3 所示。由此构造切削力频数差 $H = P_{OB} - P_{BD}$ , $P_{OB}$ 、 $P_{BD}$ 分别为 $OB$ 、 $BD$ 段内的频数。对系统切削过程进行监测,如果 $H > 0$ ,则系统处于或接近于稳定切削状态;如果 $H \leq 0$ ,则系统正孕育着颤振,此时监测系统应发出预报信号以便对起振倾向实行控制。 $H$ 的控制门限值为 0。该方法预报及时、准确性高,适合于任何切削条件<sup>[5][6]</sup>。但存在 $B$ 、 $D$ 两点位置选择问题,在实际应用中正确选择 $\overline{OB}$ 、 $\overline{BD}$ 的大小(范围)仍存在一定困难,选择不当也可能发生误报、漏报或迟报等现象。

### 3 特征信号分析法

对切削颤振的识别工作,实质上是经过一个模式识别过程,即对由稳定切削过程到颤振孕育期—过渡过程转变的识别。如果能找到表征该变化过程的某一特征参数,则预报工作就可以顺利地进行。分析颤振发出的三个发展阶段中的加速度信号的时域信号可以知道,随着颤振的孕育、形成和发展,振动加强,振动能量加大,表现为振动幅度增大,振动响应信号的方差迅速增大。显然振动信号的方差成了表示这一趋势的理想时域特征值。但由于外界干扰使得振动加速度幅度增大的同时也会使方差增大,所以应以残差方差 $\sigma_{n_2}^2$ (其均值为 $\overline{\sigma_{n_2}^2}$ )代替方差作为特征量。理论和实践均证明,它能反映切削颤振的发生,同时与振动信号的能量密度密切联系。此外,当颤振将要发生时,其信号的主频带将由高频向低频(颤振频率)移动。因此为提高对颤振判别的准确性,采用均方频率作为频域特征量。为了进一步提高计算速度从而提高预报的及时性,改用与之密切联系的一步自相关函数 $\rho_1$ 作为衡量主振频带移动的特征量。华中理工大学的杨叔子、梅志坚用振动响应方差与一步自相关系数组成的二维模式向量预报颤振征兆。该方法具有在线学习、实时诊断、在线修正参数等特点。但预报参数控制门限值的取值受经验影响较大,给颤振预报带来一定的人为因素<sup>[7][8]</sup>。

对振动加速度来说,在过渡过程中由于高频成份始终存在,并对信号影响较大,使颤振幅值的变化信号中不起主导作用,从而造成全频信号的方差、均方值及一步自相关函数在平稳切削阶段无明显差异,只是在颤振即将发生的瞬间才明显增大,时间短,容易发生迟报。所以南京工学院赵芝眉等提出将加速度信号以颤振主峰频率为中心频率,带宽 $\pm 100\text{Hz}$ 的特征频带进行带通滤波,滤掉高频信号,这样加速度信号就和动态切削力信号一样,能明显地反映出颤振发生的三个阶段,可有效地对颤振预兆进行识别<sup>[9]</sup>。显然该技术的关键在于确定颤振主峰频率。为准确地获得该频率,也需做一定数量的同条件实验,给加工带来一定的额外工作。另外即使是过滤后的加速度信号预报的灵敏度也比切削力信号的低。所以建议综合考虑切削力和过滤后的加速度信号,从而提出一个量化指标来预报并控制颤振。

## 4 相关函数处理法

在颤振发展过程中切削力和加速度都很大,但不宜直接视其为颤振预兆,因为对于不同的加工系统和加工条件难以确定合适的门限值。比较稳定加工过程和颤振过程的切削力和加速度的相关函数可以发现在 100~800Hz 频段内稳定切削过程中相关函数小于 1,并且绝对不可能达到 0.97。当切削过程由稳定状态向不稳定状态过渡时,切削力信号和动态响应(加速度)信号的相关性逐渐加强,到颤振状态时可能达到 0.99 甚至 1,由此可以把切削力和加速度的相干函数用于颤振预报,其门限值可设为 0.97。该方法不依赖于切削加工条件,且具有较高可靠性,但相干函数的计算涉及到自功率谱的复杂运算问题,如无专用处理机,运算时间较长,有预报不及时的弊病<sup>[10]</sup>。文献 [11] 在研究过渡过程中各个动态切削参数变化规律的基础上,提出直接利用相干函数的平方作为预报参数,并且采用了如图 2 的变速控制系统控制颤振。该控制方案成本低,易于实现,只要变速幅度取得合适,就能取得很好的控制效果,但动态切削力对其振动响应的传递函数需通过自学习解决。

## 5 求解特征方程的数值模拟法

计算机及其外围设备的不断发展给快速数据处理提供了十分有利的条件。八十年代初单板机、单片机开始被应用于切削颤振的研究。八十年代后期个人计算机(PC)与单片机配套用于数据处理并监控切削过程,文献 [12] 就是一例。该文献分析机床的动力学特性和刀具-工件切削系统特性,建立了特征方程,在实际加工(铣削)过程中使用话筒拾取声信号,动态测力仪拾取切削力信号,近程静态传感器拾取刀具位移信号。把采集到的数据送给数值信号处理单元进行快速傅立叶变换(FFT)后送给 PC 机,PC 机根据所得信号进行综合判断,通过主轴控制器监控主轴转速及其变化。用户输入声音频谱的门限因子、主轴名义转速及速度调节幅度和频率。系统一旦运转,将以足够高的频率(颤振频率 5 倍以上)采集话筒信号,由 PC 机来决定频谱数据的最大值及其频率。如果最大值超过了低频频谱的均值,则认为颤振已经存在,这时被控值大于门限值。改变主轴转速以后,抑制了颤振,不仅能提高切削效率,而且与变齿距铣削相比,具有更大的柔性,效果更好。这种方法需要在短时间内传递幅值和频率较大的速度变化,所以需要高性能、高传动力矩的主轴及其驱动系统<sup>[12]</sup>。显然,此方案的人为因素较多,四个用户所给参数均需以丰富的经验作为基础才能达到良好效果,所以它离广泛应用还有一定距离。

另外, I. Minis<sup>[13]</sup> 建立并分析了系统特征方程,用其 0 阶逼近(切削刚度  $K_a$  和临界切削深度  $h_c$ ) 来估计系统的稳定性,提出一种预报铣削颤振的理论方法,该方法的结果与数值模拟的结果吻合,能预报变速切削条件下的临界切削深度。

## 6 反馈阻振法

反馈阻振法,有的资料称之为主动控制法。它主要有  $F \rightarrow y$ 、(测量动态切削力,控制位移,以下类同)  $y \rightarrow y$ 、 $F \rightarrow y$  和  $y \rightarrow F$  四种方案。国内外控制切削颤振通常采用液压伺服系统或控

制电机驱动系统，使刀具作补偿运动的方法。图 4 所示为美国 Purder 大学所采用的再生谱法控制图<sup>[14]</sup>。他先识别机床的结构和切削系统的数学模型，再实测刀具—工件系统的位移，由模拟机给出控制信号，经电液伺服阀—油缸系统作用于刀具，使刀具沿工件径向作补偿运动，来提高切削过程的稳定性。这种方法复杂，控制装置结构庞大，对刀架的改装量也大。相反 1972 年日本的森胁俊道提出的直接补偿切削力防止颤振的方法具有一定的巧妙性<sup>[15]</sup>。他给出了一个适当相位的补偿力使得工作机械的动特性发生如图 5 的偏转，从而消除了颤振发生的可能性。1986 年四川工业学院王先上提出了一种新的控制原理和方法，如图 6 所示。

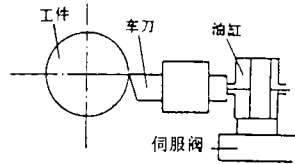
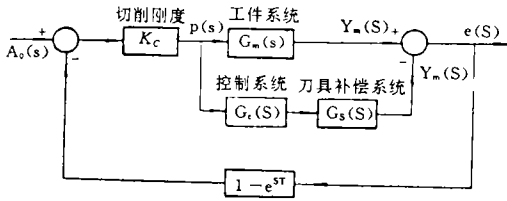


图 4 (a) 美国普尔度大学的车削控制系统框图 图 4 (b) 普尔度大学的刀架补偿移动机构

利用切削过程本身的径向切削力的动态分量  $F_d$  产生一个相位与之相反的动态切削力  $\Delta F$ ，使切削力的波动影响得到补偿，振动位移  $y(t)$  减小，从而实现对车削颤振的自动控制。利用该法可以对车削振动进行有效控制，不需对机床进行改装<sup>[16]</sup>。

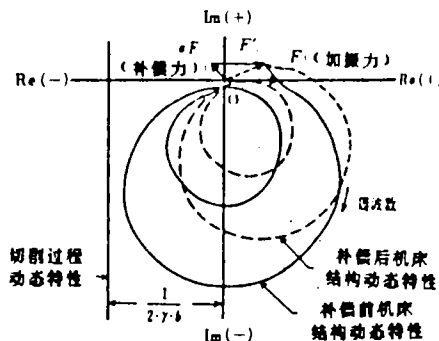


图 5 切削过程及补偿前后机床结构动态特性

文献 [17] 把颤振产生的原因归纳为等效原生切削速度效应和外界干扰的作用。建立了机床系统数学模型的传递函数，进行了稳定性分析，利用并联负反馈法取出振动的速度信号进行相位补偿，提高系统及其各环节的动态稳定性。其控制框图如图 7 所示。这种反馈消振系统的阻振力由外界能源提供，可控易调，工作效率较高。

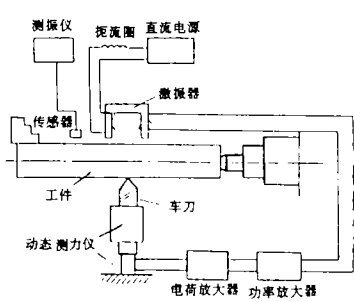


图 6 车床振动的自动控制系统

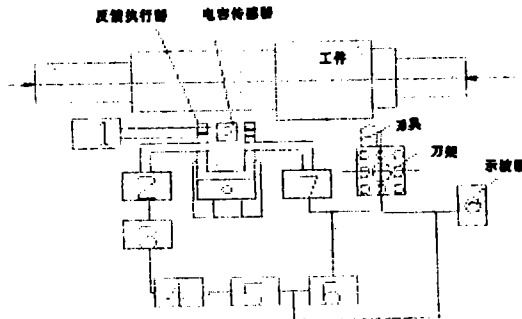


图 7 车削消振结构框图

- 1 直流电源；2 功率放大；3 相位补偿；
- 4 微分放大；5 滤波；6 DWY-27 微分

在反馈控制的四种方案中,就控制的复杂程度而言, $F \rightarrow F$  和  $y \rightarrow y$  两种方案较好,因为它们的控制环节不受机床结构的切削过程动态特性的影响;从有效性考虑, $F \rightarrow F$  较好,它能够排除外界干扰力的干扰。

## 7 变参数抑振法

**改变机床主轴转速** 所谓变速切削就是人为地以各种方式连续地改变切削速度所进行的一种切削方式。变速切削过程中切削速度将以一定的变速波形、一定的变速幅度、一定的变速频率围绕某一基本速度做周期变化<sup>[2-3][18-23]</sup>。理论和实践研究均表明<sup>[22]</sup>,采用变速切削方法加工,可获得较大的极限切宽。这是因为变速切削过程,切削将在不稳定区和临界稳定区交替进行,且切削响应频率随主轴转速呈锯齿形变化,变速切削过程实际上是一种变频激励的过程,加工系统的响应将明显减小<sup>[19]</sup>。在变速切削的铣削过程中,变速切削同样具有明显的抑振效果<sup>[20]</sup>。

由于速度变化的幅值和频率受到系统结构的惯性和阻尼等因素的影响<sup>[24]</sup>,研究表明正弦变速波形优于三角波、锯齿波、方波等<sup>[25]</sup>;变速幅度最好在 $\pm 10\sim 20\%$ ;变速频率  $f \leq 0.5\text{Hz}$ ,只要变速参数取得合适,采用变速切削方法加工,振动幅值可降低 3~5 倍,最好能达到 10 倍。

**变切宽** 由于切削宽度及重叠系数时变特性的影响,系统传递函数与传统理论相比多了一个具有等效阻尼作用的相位超前反馈,其作用效果取决于切宽变化率  $b_1$  与初始切宽  $b_0$  之比。 $b_0$  越小,系统相位裕量越大,稳定性越高。引入相位超前反馈校正环节,增大了系统的相位裕量,起等效阻尼作用,改善了系统动特性,从而提高切削效果<sup>[26]</sup>。另外切削宽度连续变化(增大或减小),该切削过程引入了新的反馈系统(负反馈或正反馈),从而影响机床颤振稳定性,造成起振阀和消振阀分离现象<sup>[27]</sup>。

**刀具角度变化** 切削过程中刀具角度变化能引起颤振<sup>[1]</sup>,适当控制角度变化也能抑振<sup>[28-30]</sup>。一般而言,增加刀具前角,切削力减小,系统稳定性增加<sup>[28]</sup>。通过旋转刀具改变切削角度,可以很大的切削速度范围内使颤振被抑制且提高生产率<sup>[29]</sup>。

**改变进给** 文献 [5] [6] [31] 利用如图 8 的实验设备进行变进给试验得到如图 9 的结果。北京工业学院张云电等也通过实验得出纵向变进给切削使系统动态稳定性高于匀进给过程的结构<sup>[32]</sup>。变进给方法<sup>[28][31-33]</sup>不失为一种有效的抑振方法。变进给切削相对前述几种变参数法的效果略差,基本上表现为在低速区系统稳定性随进给量的增加而降低,在高速区却正好相反<sup>[28]</sup>。

**改变系统结构** 提高系统刚度从而降低机床动态响应是一种古老而又主要的抑振策略。然而增大刚度往往会增加成本。B. J. Stone 等人<sup>[34-35]</sup>利用 DeBeers Industrial Diamonds 公司发明的柔性砂轮给刀具-工件系统增加一个自由度,降低其刚度,对抑制低频颤振有一定效果,但高频颤振的抑制尚需进一步研究。

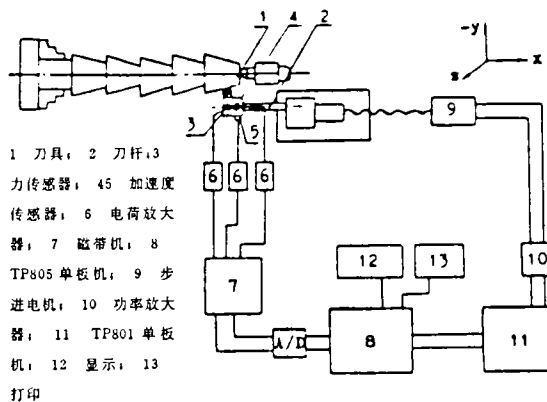


图 8 变进给切削实验装置框图

笔者所知,目前吉林工业大学正在进行多元时变参数的颤抑制研究,实验效果较明显。他们对时变切削参数切削的减振机理也进行了深入的研究,取得了一定成果。

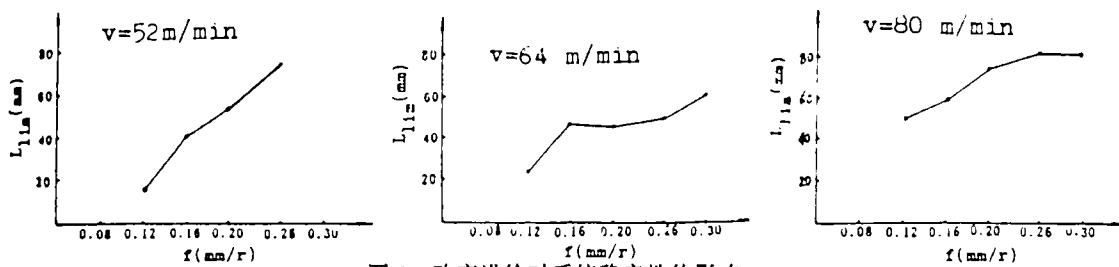


图9 改变进给对系统稳定性的影响

## 8 结 论

多年来人们在切削颤振的识别、预报和控制方面取得了令人鼓舞的成就。研究表明,在颤振发展过程中存在三个不同阶段,并且人们已经掌握了这三个阶段的基本特征,进而提出了众多颤振的预报参数并得到了实验验证。在颤振控制方面预报控制、反馈控制和变参数控制方面都取得了一定成绩。但这些成果尚不很理想,目前还未能能在生产实践中得到广泛应用,尚需在提高颤振预兆预报的准确性、快速性和振动控制的可靠性方面进行深入的研究。

### 参 考 文 献

- [1] 杨肃清,唐恒龄,廖伯瑜,机床动力学(I).北京:机械工业出版社,1983第一版
- [2] Junyi Yu, Xiaoqin Zhou, An Investigation into the Identification of Machining Chatter Omen. Proceedings of CIRP Conference PE & MS, Tianjing, China, Sept. 1991: 279-287
- [3] Yu Junyi, Zhou Xiaoqin, Study on the Omen Identification of Machine Chatter and Learning Vari-Speed Control Strategy. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1992, 5 (1): 31-37
- [4] Lee Gengxin, Chen Renheng, An On-line Identification System for Determination of Turning Chatter Onset Using Single Board Microprocessor. Proceedings of the International Conference Machine Dynamic and Engineering Applications, Xi'an, China, Aug, 27-31, 1988: H43-H47
- [5] 包善斐,张文国,于骏一,乔思茂,用切削力的频数差对切削颤振进行早期预报. 振动工程学报, 1992, 6 (2): 140-144
- [6] 包善斐,张文国,于骏一,乔思茂,王文才,机械加工振动的预报控制新方法. 科学通报, 1992 (4): 373-375
- [7] 杨叔子,刘经燕,师汉民,梅志坚,金属切削过程颤振预兆的特征分析. 华中理工大学学报, 1995, 13 (5): 79-86
- [8] 梅志坚,师汉民,刘经燕,杨叔子,金属切削过程颤振早期诊断的一个有效的综合判据. 华中理工大学学报, 1985, 13 (5): 87-94
- [9] 赵芝眉,谢锡俊,吴波,切削颤振预兆的研究. 南京工学院学报, 1988, 18 (2): 47-54
- [10] Dong Weiping, Cai Lijun, Lu Binghen, C. H. Ku, An Effective Approach to the Detection of Machine Tool Chatter, Proceeding of the International conference Machine Dynamic and Engineering Applications, Xi'an, China, Aug. 27-31, 1988: H30-H33
- [11] 于骏一,周晓凯,包善斐,切削颤振预报控制. 振动工程学报, 1990, 3 (1): 72-78

- [12] Y. Altintas and Philip K. Chan, In-Process Detection and Suppression of Chatter in Milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacturing*, 1992, **32** (3): 329-347
- [13] I. Minis, R. Yanushevsky, A New Theoretical Approach for the Prediction of Machine Tool Chatter in Milling. *Transactions of ASME, Journal of Engineering for Industry*, November, 1993, **115**: 1-8
- [14] Scinivasen, Identification and Active Adaptive Control of Chatter in Single-point Machining Operations. PH. D., Purdue University, U. S. A., 1976
- [15] 森胁俊道, 切削力の直接补偿によるびびり振動の防止, *精密機械*, 1972, **38** (10): 865-870
- [16] 王先上, 车床振动的自动控制. *机械工程学报*, 1986, **22** (2): 38-47
- [17] 苏洪, 王善庆, 车削加工反馈消振的研究. 中国机械工程学会机械加工分会第三届学术年会, 合肥, 1984: 240-253
- [18] K. Jemielniak and Widota, Suppression of Self-Excited Vibration by the Spindle Speed Variation Method. *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* 1984, **24** (3): 207-214
- [19] 于骏一, 韩相吉, 吴博达, 变速切削的研究. *机械工程学报*, 1984, **24** (4): 59-63
- [20] 吴博达, 杨国辉, 于骏一, 变速铣削的试验研究. 中国生产工程专业学会第六届学术大会论文集, 1991: 10-14
- [21] B. J. Stone, The Effect of Time Varying Parameters on the Build-Up of Chatter in Turning. *Annals of the CIRP*, 1985, **34** (1): 371-374
- [22] J. S. Sexton B. J. Stone, An Investigation of the Transient Effects During Variable Speed Cutting. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 1989, **22** (3): 107-118
- [23] Tetsutaro Hoshi, Suppression of Wheel Regenerative Grinding Vibration by Alternating Wheel Speed. *Annals of the CIRP*, 1986, **35** (1): 231-234
- [24] R. J. Olbrich, D. Bray, R. E. DeVor, Study of a Control System With Varying Spindle Speed in Face Milling. *13th Namrc*, May, 1985: 567-574
- [25] S. C. Lin, R. E. DeVor, S. G. Kapoor, The Effects of Variable Speed Cutting on Vibration Control in Face Milling. *Transactions of ASME, Journal of Engineering for Industry*, February 1990, **112** (2): 1-11
- [26] 肖友谊, 徐燕申, 彭泽民, 切削颤振试验中的初始切宽效应. *振动工程学报*, 1990, **3** (2): 15-20
- [27] 肖友谊, 彭泽民, 评定机床颤振稳定性的新方法. *机械工程学报*, 1989, **25** (3): 24-29
- [28] W. A. Knight, Chatter in Turning: Some Effects of Tool Geometry and Cutting Conditions. *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* 1972, **12**: 201-220
- [29] C. R. Liu, T. M. Liu, Automated Chatter Suppression by Tool Geometry Control. *Transactions of ASME, Journal of Engineering for Industry*, May, 1985, **107** (10): 95-98
- [30] Chang Song, Mel Zhijian, A Study on Dynamic Change Efficiency of Tool Geometric Angles. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 1992, **5** (2): 116-122
- [31] Junyi yu, Wangbim zheng, Shamfei Bao, Study on Controlling Chatter in Machining Operations With on-Line Adjusting Feed Rate. *International conference of Noise & Vibration'89*, Singapore, P. B-105 ~B-109
- [32] 张云电, 庞爱芳, 变进给切削过程的动态稳定性. *北京工业学院学报*, 1992: 393-402
- [33] B. R. Fussell, K. Srinivasen, An Investigation of the End Milling Process Under Varying Machining Conditions, *Transactions of ASME, Journal of Engineering for Industry*, February, 1985, **111**: 27-

- [34] B. J. Stone, The Suppression of Vibration in Grinding. Proceedings of CIRP Conference on PE & MS, Tianjing, China, Sept. 1991; 393-402
- [35] R. J. Baylis and B. J. Stone, The Effect of Grinding Wheel Flexibility on Chatter. Annals of the CIRP, 1989, 38 (1): 307-310

## **An Overview on the Identification, Prediction and Control Chatter (IPCC) During the Metal Machining Process**

Wu Qingwen

*(Changchun Institute of Optics & Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun130021)*

Gou Zhijian

*(Department of Mechanical Engineering, Jilin Institute of Technology, changchun130012)*

### **Abstract**

The major job of scholars home and abroad is summarized on the IPCC during the metal machining process, the advantage and disadvantage of which is analyzed.

**Key Words:** Machining vibration (Chatter), Identification, Prediction, Control.