

细长杆车削浅析

韩荣第, 郭建亮

(哈尔滨工业大学 机械制造及自动化系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:细长杆车削加工中刀具与工件间的相对振动是影响加工精度的主要原因, 而减小振动是主要难题。系统地分析研究了实际生产中采取的各种用于抑制振动的措施, 并对可用于细长杆车削振动分析的理论进行了探讨。

关键词:细长杆; 车削; 变形; 振动; 切深分力

中图分类号: TG5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-4414(2004)01-0015-02

细长杆的车削加工极易产生弯曲、鼓形、棱带和锥度。减小刀具与工件间的相对振动就成为细长杆车削加工中的主要难题。

为方便同行, 特把可收集到的有关生产经验及理论研究方面的文献予以归纳和分析。

1 细长杆车削中减小振动的各种措施

1.1 合理选择车刀的几何参数

实践表明, 车刀的前角 γ_0 和主偏角 K_r 对振幅的影响如图 1 所示。由于增大前角和主偏角, 使切深分力 F_p ($F_p = F_D \cos K_r$, F_D 为切深分力 F_p 与进给分力 F_f 的合力) 减小, 弯曲变形减小, 振动也随之减轻。因此, 细长杆车削中, 在保证车刀有足够强度前提下, 尽量使刀具的前角和主偏角增大。

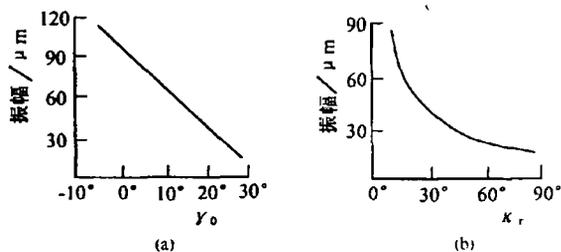


图 1 车刀几何参数对振幅的影响

1.2 合理选择切削用量

切削加工中的振动随进给量 f 的增大而减小。但增大进给量会增大工件表面粗糙度值。一般粗加工选择 $f=0.33\sim 0.38\text{mm/r}$, 精加工选择 $f=0.15\sim 0.25\text{mm/r}$ 。

切削速度与振幅的关系如图 2 所示, 由图可见, 当切削速度 $v_c=30\sim 40\text{m/min}$ 时, 振幅最大, 振动剧烈。因此应该避开该速度范围, 采用低速或高速。

1.3 改变工件径向受力情况

除工件偏心自重产生的不利影响外, 刀具沿工件径向施加的切削力 F_p 也是构成振动的主要因素。为此, 设法消除或减小各类切深分力是很有效的措施。在细长杆中间设置一个

用中心架构成的辅助径向支撑, 能有效防止加工时的挠曲变形。而跟刀架的使用则相当于在车刀旁 $8\sim 10\text{mm}$ 处设置了一个随动支撑, 它能更有效地提高细长杆的刚度。这两类装置所用的与工件表面直接接触的顶块可视实际情况选用不同的材料, 如用有色金属或者非金属材料则磨损较快, 使用较硬的材料又会对已加工面造成损害, 可考虑使用乳化液对其进行充分的冷却与润滑。

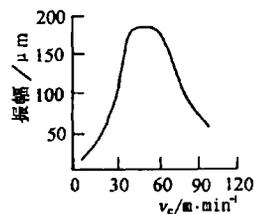


图 2 切削速度与振幅的关系^[1]

根据细长杆车削的特点, 人们设计出了一些专用跟刀架, 其效果优于普通中心架和跟刀架。较典型的有磁力跟刀架、加磁车刀、滚动轴承跟刀架等。

磁力跟刀架原理如图 3 所示, 它相当于在车刀两侧各设置一副磁性吸附装置, 利用该装置所产生的径向吸附力来抵消刀具给工件的径向力。磁性吸附装置可用永磁材料制成, 也可用电磁原理实现。控制好吸附装置与工件间的距离, 同时做好磁性装置的漏磁封闭, 使切屑不至于过量吸附。对于永磁材料还要考虑散热问题, 以免温度过高导致失磁。这种方法比一般跟刀架的优点突出, 由于磁性装置对切削力是非接触式对称布置, 所以, 它不仅克服了一般跟刀架在切削部位所产生的力矩, 不会对已加工表面有任何伤害, 切削速度可进一步提高。但是对直径过小的轴和无磁性材料行不通。

加磁车刀由套在刀杆上的励磁线圈产生磁场, 即刀杆本身在车削时实际上为一带磁体, 切削时磁场通过刀具将工件吸向刀具一侧。图 4 为一个反馈磁场控制的车削系统, 利用传感器测出工件相对于刀具的位移信号, 经处理后反馈给缠

收稿日期: 2003-07-21

作者简介: 韩荣第(1942-), 男, 教授, 博导, 现从事机械加工新技术等方面的研究工作, 完成科研项目 20 余项, 发表论文近 70 篇, 主编和参编教材各 5 部。



图 3 磁力跟刀架原理^[2]

绕在刀具上的线圈,从而根据需要调整电流强度,也就调整了线圈对工件引力的大小,达到减小振幅的目的。其不足是磁场也会吸引切屑,使一部分切屑粘在刀具前端(粘屑)。而且需要在车床上安装电子仪器、仪表,十分不便,也影响工人操作,还需要另配供电电源。

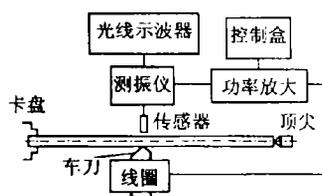


图 4 反馈磁场控制的车削系统

图 5 为一滚动轴承跟刀架系统,它通过支撑螺栓支撑在溜板箱上,这样,一方面可使切削力作用在溜板箱上,减轻了振动;另一方面,因为 3 个支撑爪前装有滚动轴承,变滑动摩擦为滚动摩擦,也大大减轻了振动。

1.4 改变轴向受力方式

细长杆横置,在重力和尾架顶紧力的作用下很容易弯曲甚至失稳,同时在切削热的作用下轴也要热胀伸长。因此,改善工件的轴向受力,妥善解决顶紧与伸长的矛盾在细长杆加工中显得尤为重要。反向进给法和拉切法都属于此类方法。反向进给法是指刀具由卡盘向尾架方向作进给运动。常规的进给方向使得尾架的顶紧轴向力与切削轴向力方向一致,加剧了细长杆的弯曲,“反向进给+活顶尖”的方式解除了尾架的轴向力,切削轴向力对工件的作用也由压缩变为拉伸,同时,工件的伸长变形也得到了保障。值得注意的是,反向进给与活顶尖一般都要配合使用,否则效果欠佳。另外,工件尾部使用轴向不固定的导套也可以很好地消除轴向力。

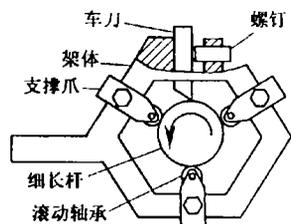


图 5 滚动轴承跟刀架系统^[1]

拉切法原理是把工件在卡盘处夹紧后,用尾架把工件朝床尾方向适当拉伸,加工过程中保持这一拉伸作用,使得正反向切削时工件上各段都只承受拉力的一种加工形式。这种方法的关键在于:一要控制好合适的拉紧力,二是尾架上夹持工装的结构要合理。尾部夹持结构要保证足够的刚度、足够的夹紧力和一定的定心精度,当然也可以在工件上设置一些辅助工艺结构来获得尾部夹持,如在工件尾部设置螺纹结构的办法。

1.5 其他方法

除上述方法外,也可以通过分段车削以及合理选择切削液来改善切削效果。北京卫星制造厂的汤士良等^[4]在加工资源卫星上的帆板拉杆时,把三爪装在四爪上并利用三爪夹装,对工件找正,分粗车、半精车、精车 3 个工步进行加工,每个工步又将工件分段加工,以提高加工时工件的刚度。另外,精加工阶段选用以润滑为主的工业豆油作为切削液,可以降低刀具与工件间的摩擦,从而达到抑制振动的目的。

2 细长杆车削中振动的理论分析方法

振动是细长杆车削中的主要难题,然而这方面的理论研究却很少,一方面是因为非线性切削动力学的复杂性,另一方面数据采集也是一个难题。为研究车削中的振动信号,一些学者使用了基于快速傅立叶变换的功率谱分析法,还有的采用时序模型在线预测法。除此之外,还有以下几种比较系统的分析方法。

2.1 通过实测传递函数进行建模分析

文献[3]通过试验测出车削系统的切削动力学传递函数和结构动力学传递函数,由此建立模型对细长杆车削进行仿真研究。对 3 个不同的切削速度和各种切削深度进行仿真,以切削力和径向位移为研究对象,通过观察并进行李亚普诺夫指数分析,结果为切削力信号呈现出混沌性;虽然位移信号频率保持不变,但是振幅也呈现出混沌性,最后对仿真分析进行试验验证。由于初值敏感性是混沌系统的基本特性,因此会给振动信号的预测带来误差。

2.2 利用神经网络对细长杆车削中的振动进行预测

人工神经网络可以模拟人的学习能力,因此已经被广泛应用于许多领域。利用神经网络对细长杆车削振动进行预测的一个重要优点就是它的预测速度快,但是,为使神经网络的预测值有足够的精度,必须提供足够的典型信号对其进行训练,因此需要做大量的试验来获得典型信号,这使得在不同振动环境中训练神经网络变得非常困难。

2.3 以梁的横向振动理论为基础建立细长杆车削动态模型

文献[4]应用梁的横向振动理论建立了细长杆横向振动微分方程,通过对车削特性的研究,提出并得到试验证明的细长杆车削用量的选择原则和方法,此法在上海地区许多机械制造企业得到了应用,不仅提高了许多细长杆类零件的加工质量,而且还取得了一定的经济效益。

细长杆横向振动微分方程为

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = f(x, t)$$

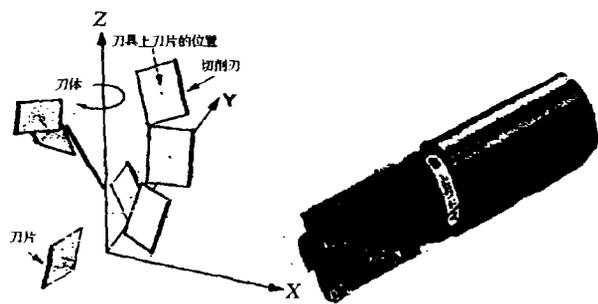
式中: m 为工件质量的线密度, kg/mm ; t 为时间, s ; y 为工件相对于刀具的径向位移, mm ; x 为工件的轴向坐标, mm ; E 为工件的弹性模量, N/mm^2 ; I 为工件的惯性矩, mm^4 ; $f(x, t)$ 为施加在工件上的径向外力线密度, N/mm 。

3 可运用的新分析方法

对于旋转机械的振动信号分析,以 FFT 为核心的传统分析法曾发挥过巨大作用,目前仍然是其他分析方法的基础,但是,它存在两个缺点:一是振动的幅值和相位相互分离;二是同一截面的水平和垂直方向振动相互独立。细长杆车削过程

(下转第 21 页)

(行 4)。使用该刀具加工 A17075。



(刀具号: BAP300R1608WL16; 刀片号: APMT1135PDERHI, "刀片尺寸 $a=6.35\text{mm}, b=9.8\text{mm}$ ", HTi20T)。刀片定位参数见公式(9), 刀柄直径 25.4mm, 两齿, 每齿 4 刀片。

图 5 Mitsubishi 镶片铣刀刀具 I

由测量出每齿周期的平均切削力, 机械识别切削力系数。进行槽铣试验, 1 个刀片, 轴向切深用 1.0mm 增量增加直至刀片刃口长度。刀片前面几何沿刀刃显著改变。因而切削系数, 极大的取决于刀刃切削点的轴向位置。对每 1.0mm 的切削段识别出切削系数。例如切深是 5.0mm 时, 对轴向切深 4.0mm 测出平均力, 去掉以前由刀刃带 5.0mm 识别的切削系数。进行的切削试验, 进给速度范围为 0.025-0.200mm/每齿, 增量为 0.025mm/每齿。安装在主轴上的刀具传递函数 $[\Phi_{xx}(s)] = \{x\} / \{F_x\}$, $[\Phi_{yy}(s)] = \{y\} / \{F_y\}$ 用锤击试验测量, 传递函数模型具有如下结构:

传递函数模型具有如下结构:

$$\frac{x}{F} [\Phi_{xx}(s)] = \sum_{k=1}^K \frac{[R_{1x} + R_{2x}s]_K}{s^2 + 2\zeta_{x,k}\omega_{x,k}s + \omega_{x,k}^2}$$

式中: x 和 F 分别是在进给方向上的振动和力, $\zeta_{x,k}$ 和 $\omega_{x,k}$ 是模 k 的阻尼比和固有频率, K 为模数。由估算的复模余式 $(\alpha_k \pm i\nu_k)$ 为 $R_{1x,k} = 2(\zeta_{x,k}\omega_{x,k} - \nu_k)$, $R_{2x,k} = 2\nu_k$ 评估模态参数。类似的方法也应用于法向 (y)。使用在领域和时域中的传递函数, Altintas 等人求出了颤震的预测。使用识别的切削系数, 槽铣 A17075 时, 在不同的深度下预测了切削力。预测和测量的切削力相当一致, 见图 6。由于颤震和它的极限扭矩承载能力, 机床不能处理更大的切削深度。使用时域以及频率分析方法, 预测了刀具的颤震稳定性图, 与实测

相符。颤震的存在用声信号频谱监测。使用另外加工钛合金 (Ti6Al4V) 的实验也得到相同结果: 预测和实测的参数相当一致。

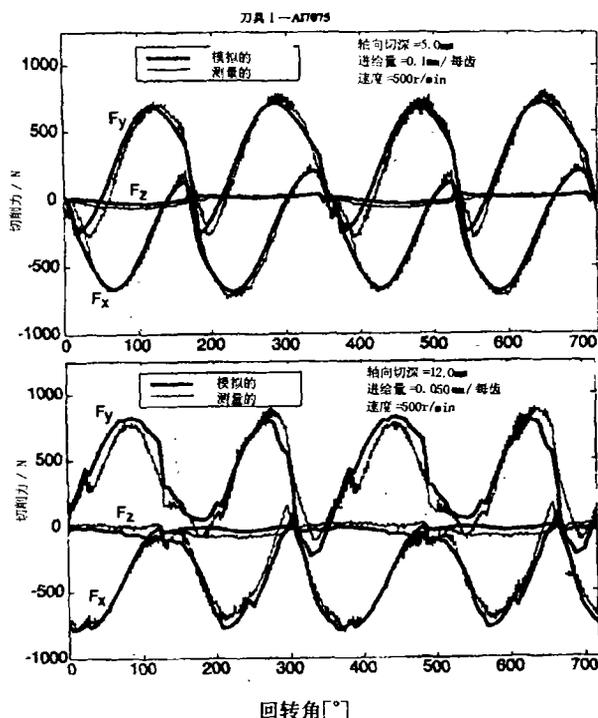


图 6 用刀具 I 加工 A17075 时测量和预测的切削力
注: 铣削方式是槽铣, 刀具几何形状见图 5。

4 结论

刀片铣刀的广义数学模型已被开发, 模型允许在刀体上数学地放置不同的刀片, 每一刀片被放置在刀体上, 从刀体坐标系中确定它的中心。刀片可绕刀体三轴线转动来定向。刀片的几何形状, 在局部坐标中由它的刀刃尺寸和形状来单独定义。用联合向量表示刀片中心和刀刃, 每一刀片的切削刃被限定。估价了任意锯齿铣刀铣削过程中产生的切屑厚度、切削力、颤震, 表面粗糙度和稳定性图。提议的模型可分析通用可转位铣刀, 并用两种工业上使用的可转位铣刀, 铣削 A17075 和 Ti6Al4V 合金, 作了试验验证。

(上接第 16 页)

中, 工件在振动的同时也在作回转运动, 因此水平方向和垂直方向的振动都会增大加工误差。近年来发展起来的全息谱分析方法, 把水平和垂直方向的振动融合在一起, 这样可以有效地克服传统方法的上述两个缺点, 因此如果运用全息谱分析细长杆车削振动特性将会更加精确。有关全息谱分析法论文。

参考文献:

[1] 刘凤棣. 机械加工技术问题处理集锦[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

[2] 李晓舟. 用磁力跟刀架减小细长轴车削时的鼓形误差[J]. 机电工程, 1994(3): 37-9.

[3] Tansel I N, Wagiman A, Tziranis A. Recognition of chatter with neural networks [J]. International journal of machine tools & manufacture 1991, 31(4): 539-552.

[4] 黄跃华. 细长轴车削特性的研究[J]. 科技通报, 2001(4): 41-49.