

硬车削过程中声发射和振动信号的监测及分析*

Monitoring and Analysis of Acoustic Emission and Vibration Signal During Hard Cutting Process

南昌航空大学航空与机械工程学院 于 晖 王 希
南京航空航天大学机电工程学院 仲为武

[摘要] 为了对硬车削过程进行监测和分析,本课题建立了一套基于虚拟仪器的信号采集系统,采集模具钢硬车削加工过程中的声发射和振动信号。对声发射和振动信号进行小波变换并重构后,发现硬车削过程中的声发射和振动信号都与转速密切相关。随着转速的增高,淬硬钢的声发射信号也随着增大,但振动信号却随之减小。

关键词: 硬车削 声发射 振动信号 小波变换

[ABSTRACT] In order to monitor and analyze the process of hard cutting, a signal acquisition system based on virtual instrument is established for gathering acoustic emission (AE) signal and vibration signal during hard cutting process. The wavelet transforming of AE and vibration signals shows that they are closely related to machining speed. AE signal raises with the increasing of machining speed of hardened steel, but the vibration signal decreased.

Keywords: Hard cutting Acoustic emission Vibration signal Wavelet transform

随着超硬材料刀具的出现和数控机床等加工设备精度的提高,硬切削已成为一种新的淬硬钢精加工方法。硬车削是指用车刀对淬硬钢进行的切削加工,这种加工通常作为最终加工或精加工,实现以车代磨。淬硬钢通常是指淬火后具有马氏体组织,硬度为54~63HRC、强度高、塑性低的工件材料。当硬度大于55HRC时,它的强度 σ_b 约为2 100~2 600MPa。通常,工件在热处理淬硬之前就已完成了粗加工工序,只有精加工在淬硬状态下进行。精磨是精加工最常用的加工工艺,但其加工范围窄、投资大、生产效率低,易造成环境污染,是影响淬硬钢加工经济有效性的重要因素。随着加工技术的发展,硬车削代替磨削已经成为可能,并在生产中取得明显效益。目前,采用聚晶立方氮化硼(PCBN)刀具、陶瓷

刀具或涂层硬质合金刀具等在车床或车削加工中心上对淬硬钢进行切削加工,其精度可达 $5\sim 10\mu\text{m}$,表面粗糙度均方根值平均小于 $20\mu\text{m}^{[1-2]}$ 。

硬车削之所以受到重视,是因为硬车削与传统磨削相比,具有以下特点^[3-4]:(1)硬车削的加工效率高;(2)硬车削是绿色制造工艺;(3)硬车削的设备投资少,适合柔性生产要求;(4)硬车削可使零件获得良好的整体加工精度。但是在硬车削过程中,因为采用很高的主轴转速和刀具进给速度以及不使用切削液,使加工过程变得更加复杂,刀具的磨损、崩刃、温度过高等问题显著增加;而且目前在硬切削领域对其加工过程的状态监测与分析重视不够。

本课题将建立一套基于虚拟仪器的信号采集系统,使用振动和声发射(Acoustic Emission, AE)传感器来采集模具钢硬车削加工过程中的信号,用小波变换方法进行信号处理,提取能够反映加工过程特征的规律。它为分析硬车削加工过程、进行优化工艺参数、提高加工效率与质量等提供了一条新途径。本课题中解决硬车削的一个关键技术问题是过程监测与分析。

1 基于虚拟仪器的过程监测软硬件系统

本课题利用通用计算机接口板卡、声发射传感器和加速度计来采集数据。为实现虚拟测量,在Labview平台上设计前面板、框图程序和图标/接线端口。通过采用Labview中的CIN技术实现与C语言的接口和测量数据的采集与存储。硬车削加工试验系统整体框图和Labview信号采集系统前面板分别如图1、图2所示。

振动信号(加速度计)使用研华PCI-1710型低速采集卡进行采集,采样率设置为16kHz。AE信号采集采用研华PCI-1714UL高速采集卡,采样率可达4通道各10MHz。据文献报道,国外在将声发射传感器用于加工过程监测时,采样率都在2MHz左右^[5-6],所以声发射传感器的采样率设置为2MHz。如此高的采样率,以及相应而来的巨大数据量,对计算机性能以及采样程序提

* 国家自然科学基金项目(50875120)、航空科学基金项目(2007ZE56008)。

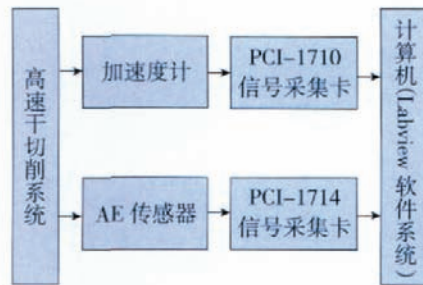


图1 试验信号采集系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of signal acquisition system



图2 Labview 实时采集前面板

Fig.2 Real-time data acquisition panel of Labview

出了较高要求。因此,本试验分别采用的传感器为联能电子内置 ICP 加速度传感器 CA-YD-1182 型和 SR150A 型声发射传感器,各传感器都配相应的信号调理模块。

2 试验装置及加工参数设置

2.1 试验装置

试验机床采用带有 FUNUC 数控系统的 CKA6150 型数控车床。该机床主轴转速为 25~2 000r/min,床身最大工件回转直径为 $\phi 500\text{mm}$,坐标行程为横向 $\text{X} 295\text{mm}$,纵向 $\text{Z} 685\text{mm}$ 。

切削刀具采用复合 PCBN 刀具。刀具中 CBN 颗粒含量较低,采用陶瓷作粘结剂,硬度较低,但材料热稳定性较好,适用淬硬钢的切削加工。

工件材料采用 HRC56 的淬火模具钢和 HRC20 的普通模具钢各 1 块,它的工件规格为 $\phi 60\text{mm} \times 150\text{mm}$ 。

2.2 试验参数

试验是在 CKA6150 型数控车床上进行的。声发射传感器和加速度传感器依靠其自带的磁铁吸附在 PCBN 车刀侧面,随着车刀一起运动,在整个加工过程中不抬刀,以保证声发射信号的采样不间断。试验采取端面连续直线切削,不加任何切削液。为了进行对比,本试验

先后分别加工 HRC56 的淬火模具钢和 HRC20 的普通模具钢各 1 块。在进给速度为 0.05mm/min,切削深度为 0.1mm,主轴转速设置为 800r/min、1 000r/min、1 200r/min、1 500r/min、1 800r/min 的条件下进行试验。

在这 3 个加工参数中进给速度和切削深度这 2 个参数不变,采用逐渐提高主轴转速的方式进行加工试验,目的是为了分析主轴转速对声发射和振动信号的影响。

3 试验结果及分析

由于采样频率高以及噪声干扰,试验采集的声发射信号和加速度(振动)信号无法直接看出规律。本课题通过对信号进行小波变换处理后可得到明显的规律。

3.1 小波变换与小波包变换

信号 $f(t)$ 的连续小波变换定义为:

$$w_{\psi} f(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} (1/\sqrt{|a|}) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt$$

公式中, $\psi(t)$ 为母小波或小波基函数, a 和 b 分别为尺度参数和位置平移参数。小波变换的结果是将时域中的一维信号变换到时间-频域平面中的二维函数,将尺度参数和位置平移参数按二进方式离散化得到函数的离散表达式。

3.2 声发射和振动信号处理结果与分析

对主轴转速所采集到的声发射信号,用 db3 小波基函数进行 18 层小波分解,并对第 18 层分解信号进行低频重构, HRC56 和 HRC20 模具钢的声发射信号结果如图 3 所示。

从图 3 可知:在相同切削条件下,主轴转速从 800r/min 升高到 1 800r/min 时,声发射信号也随之增大。另外从 2 图对比还可以看出, HRC56 模具钢的声发射总体大于 HRC20 模具钢的声发射。

同样,对采集的振动信号用 db3 小波基函数进行 14 层小波分解,并对第 14 层分解信号进行重构, HRC56 和 HRC20 模具钢的振动信号结果如图 4 所示。

在相同的切削条件下,主轴转速从 800r/min 升高到 1 800r/min 时, HRC20 模具钢的振动信号也随之增大,这符合一般的金属切削理论。但是, HRC56 模具钢的振动信号却随着转速的增大而减小。从两图对比可以看出,在主轴转速为 1 800r/min 时, HRC56 模具钢和 HRC20 模具钢的振动信号十分接近。按照这种趋势,主轴转速增加到一定程度后,其 HRC56 模具钢的振动信号将小于 HRC20 模具钢的振动信号。文献 [4] 表明,当淬硬材料硬度高于 HRC50 时的切削机理因金属软化效

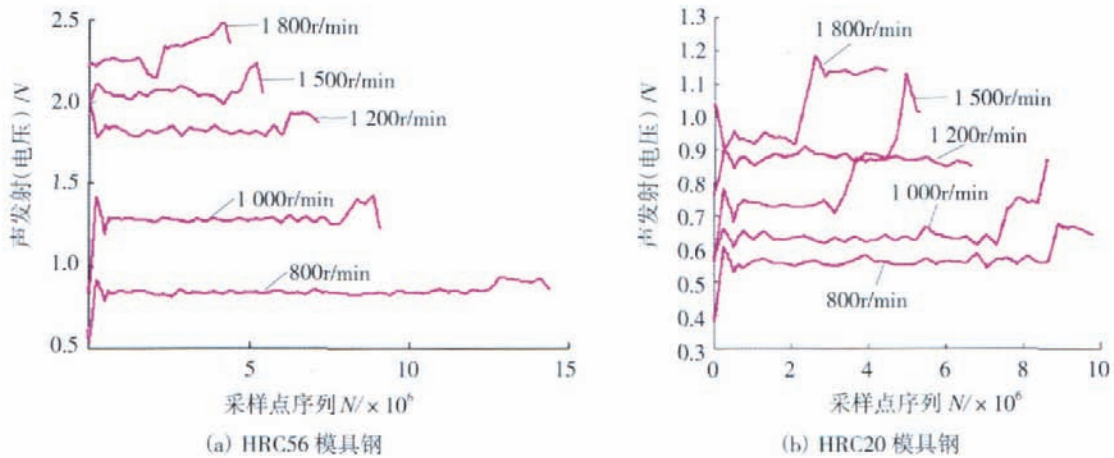


图3 声发射信号第18层小波分解并低频重构图

Fig.3 Wavelet transform and approximate coefficient reconstruction at 18th layer of AE signal

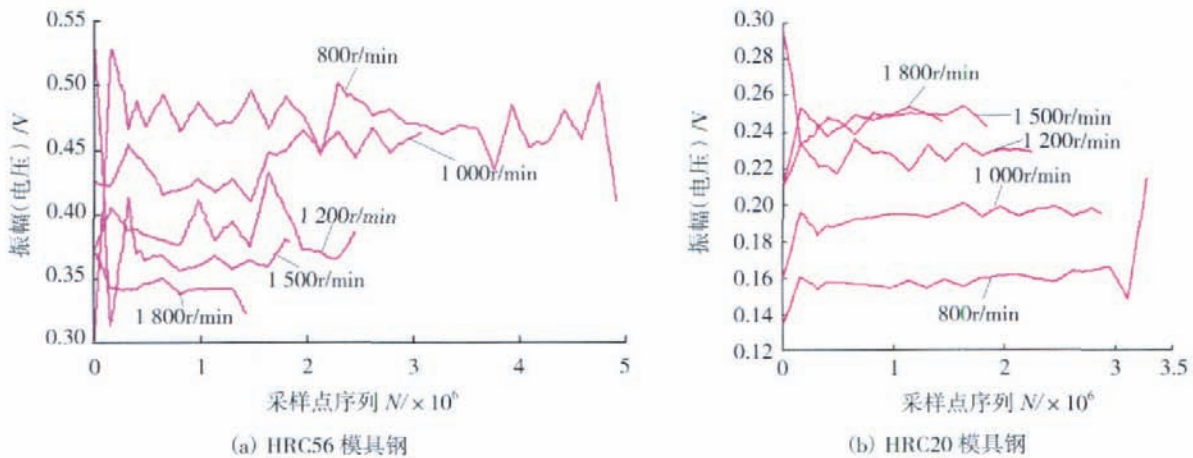


图4 振动信号第14层小波分解并低频重构图

Fig.4 Wavelet transform and approximate coefficient reconstruction at 14th layer of vibration signal

应的产生而发生变化。因为淬硬钢的硬态干切削机理是高速切削时产生的切削热使被切削金属层软化,切削温度对金属软化效应起决定性作用,即工件硬度随着切削温度的升高而降低。所以,转速越高,切削温度越高;工件硬度降低,振动信号减小。

4 结束语

硬车削模具钢时,声发射信号随着主轴转速的增大而增大,而且,硬度越大的模具钢,其声发射信号越大。

HRC20 普通模具钢振动信号随主轴转速增大而增大。相反,HRC56 淬硬模具钢振动信号随主轴转速增大而减小,这是由于当淬硬材料硬度高于HRC50时的切削机理因金属软化效应的产生而发生变化。

参 考 文 献

- [1] LAN Carius A. Turning hard-steel part with PCBN. Cutting Tool Engineering, 1998, (6) :121-123.
- [2] 杜国臣. 硬车削技术及其应用. 机械工程师,2003,(4): 13-15.
- [3] 张燕敏,徐宏海. 高速硬车削淬硬钢的实验研究. 中国制造业信息化,2006,35 (5) : 54-57.
- [4] 刘志峰,张崇高,任家隆. 干切削加工技术及应用. 北京:机械工业出版社,2005.
- [5] Myeong Chang Kang, Jeong Suk Kim, Jeon Ha Kim. Monitoring technique using a multi-sensor in high speed machining. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 113: 331-336.
- [6] Rodolfo E, Haber Jose E, Jimenez C, et al. An investigation of tool-wear monitoring in a high-speed machining process. Sensors and Actuators, 2004, 116: 539-545. (责编 阳光)