

基于声发射技术监测刀具磨损的研究

胡江林¹, 张少文², 李亮²

¹上海工具厂有限公司; ²南京航空航天大学

摘要: 刀具磨损的研究方法很多,本文针对近些年发展的声发射技术(AE)在监测刀具磨损上的应用,采用理论分析和现场试验的方法进行可行性分析和验证,结果表明:在考察的几个影响声发射信号强度的因素之中,刀具主切削刃后刀面磨损量对其影响最为显著,这为利用AE技术研究刀具磨损提供了可行性依据;通过对铣刀AE信号进行时域振铃分析,清晰再现了刀具在不同时刻的磨损情况。

关键词: 声发射(AE);振铃;时域分析;刀具磨损

中图分类号: TG115.5+8

文献标志码: A

Research on Tool Wear Monitoring by Acoustic Emission Technology

Hu Jianglin, Zhang Shaowen, Li Liang

Abstract: There are many methods for tool wear research. Based on the application on monitoring tool wear by acoustic emission (AE) technology which developed in recent years, this paper did some theoretical analysis and field tests. The results show that main cutting edge flank wear is the most significant factor to affect AE signal in four investigated factors, this provides effective feasibility evidence for tool wear monitoring by AE technology. Besides, tool wear in different time is clearly represented by analyzing the ringing of AE signal in time domain.

Keywords: acoustic emission (AE); ringing; time domain analysis; cutting tool wear

1 引言

长期以来,刀具磨损一直是人们关注和研究的问题,刀具的磨损、破损形式和影响刀具磨损的因素众多,不同刀具间的磨损、破损形式亦不相同。人们普遍认为切削速度是影响刀具磨损的最主要因素,随着切削速度提高,刀具磨损也会加剧。然而这种观点成立的前提要针对特定磨损形式而言,如磨粒磨损和氧化磨损,而对有些磨损,如黏结磨损,当切削速度超出一定范围之后,刀具磨损反而下降^[1],因此研究刀具磨损时应针对不同磨损形式具体分析。

刀具磨损、破损的研究方法很多,最简单直接的方法是通过观察刀具后刀面或其他部位磨损量判断刀具的磨损状态^[2],该方法简单直接,无需复杂设备,但无法实现在线动态监测,每次观测均要停下机床,反复装卸刀具,耗时费力。近年来,随着在线监测技术的不断发展,刀具磨损监测方法越来越多,如以切削力^[3]、扭矩为指标的在线监测技术,模糊识别技术^[4]等。本文采用近年来发展起来的声发射

技术对切削过程中刀具磨损状态进行研究。声发射监测技术是利用声发射传感器接收材料中的应力集中源瞬间释放的弹性波来判断刀具磨损、破损状态。声发射技术作为一种无损检测方法,具有很多优点,如不受材料限制,几乎所有的金属和非金属材料在一定条件下均有声发射现象;声发射设备简单,只需一个传感器;适用于动态在线检测。声发射检测刀具磨损装置如图1所示。

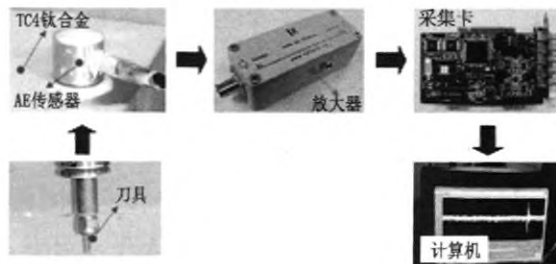


图1 声发射监测刀具磨损装置

AE传感器安装在TC4工件材料上,采集到的信号经放大器放大后由采集卡传入计算机,经计算机处理后显示出波形,试验采集到的声发射信号波形如图2所示。对声发射信号进行后续处理,如小波包分析,将原始信号分解到不同频段,滤除噪声后就能清晰观察刀具在不同磨损阶段的声发射情况^[5-7],从而判断分析刀具磨损状态。本文采用振铃分析法对声发射信号进行时域振铃分析^[8]。

基金项目:“高档数控机床与基础制造设备”科技重大专项(2010ZX04012-042)

收稿日期:2011年11月

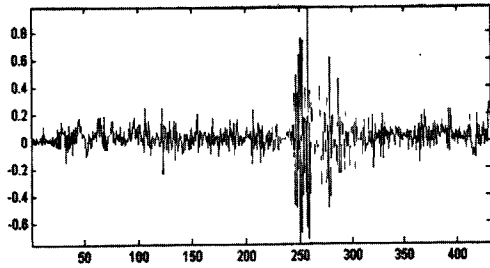


图2 试验采集的声发射信号

2 试验方案

2.1 试验材料与装置

实际加工过程中影响声发射信号的因素很多,包括刀具本身的几何参数及磨损情况、工件装夹及材料性能、切削用量和机床等^[9]。相对于其他因素而言,刀具磨损是可变因素,针对不同的要求,切削用量也可变化调整。因此,对于声发射信号而言,必须找出以上因素的变化对声发射信号的影响程度,才能为声发射监测刀具磨损提供有力的证据。为此,本文设计了正交试验,考察主轴转速、进给量、孔深和主切削刃后刀面磨损量对声发射信号的影响大小。

刀具规格:φ8 硬质合金涂层麻花钻;φ5 硬质合金涂层铣刀。工件材料:TC4 钛合金。机床与检测设备:机床为 DEEKEL MAHO DMU 50 evo linear 五轴加工中心,主轴功率 24kW;刀具磨损检测设备为 Jerry DJCLY92B 检测仪;AE 传感器;PXPA AE 放大器;ADLINK 数据采集卡。冷却方式:乳化液外冷。

2.2 试验内容与方法

(1) 声发射信号的影响因素大小试验。本次试验目的在于验证在影响声发射信号的众因素之中主切削刃后刀面磨损量对其影响的显著性,从而验证声发射技术检测刀具磨损的可行性。试验采用正交设计,考察四个因素,每个因素三个水平,选择表 1 所示的 L9(34) 因素水平表。主切削刃后刀面磨损量各水平值为区间值。

表1 L9(34) 正交试验因素水平表

因素 水平	主轴转速 (r/min)	进给量 (mm/r)	孔深 (mm)	主切削刃后刀 面磨损量(mm)
1	1591	0.05	20	0-0.1
2	1711	0.07	24	0.1-0.2
3	1830	0.09	28	>0.2

(2) 声发射检测铣刀磨损试验。本次试验目的在于通过声发射技术监测铣刀在铣削过程中的磨损状态,刀具规格为 φ5 硬质合金涂层铣刀,试验参数

设置如表 2 所示。

表2 铣刀磨损试验参数

主轴转速(r/min)	进给速度(mm/min)	切深(mm)	切宽(mm)
6366	1273	5	1

3 试验结果与分析

3.1 声发射信号的影响因素分析

通过正交试验得到表 3 所示的 9 组试验样本, AE 信号为电压值,取其均方根值作为试验结果。经方差分析可知:在考察的四个因素中,主切削刃后刀面磨损量对声发射信号影响最大,进给量次之,主轴转速和孔深影响最小。换言之,主切削刃后刀面磨损量的变化能够最显著地反映在声发射信号的大小上。因此,用声发射技术监测刀具在加工过程中的磨损状态完全可行。

表3 试验正交表及声发射信号均方根值

因素 试验号	主轴 转速	进给量	孔深	主切削刃后 刀面磨损量	AE(V)
1	1591	80	20	0-0.1	0.0119
2	1591	111	24	0.1-0.2	0.011
3	1591	143	28	>0.2	0.012
4	1711	86	24	>0.2	0.0137
5	1711	120	28	0-0.1	0.0124
6	1711	154	20	0.1-0.2	0.0104
7	1830	92	28	0.1-0.2	0.0118
8	1830	128	20	>0.2	0.0129
9	1830	164	24	0-0.1	0.0114
K1	0.0349	0.0374	0.0352	0.0357	
K2	0.0365	0.0363	0.0361	0.0332	
K3	0.0361	0.0338	0.0362	0.0386	
R	0.0012	0.0036	0.0009	0.0054	

3.2 声发射检测铣刀磨损试验分析

通过以上实验分析可知,加工过程中声发射信号的变化有效反映了刀具在不同阶段的磨损状态,本次试验正是基于以上结论进行试验验证,试验共铣削 TC4 钛合金 37m。

长期以来,信号处理的方法主要分为:时域分析法、频域分析法、时频分析法(JTFA),其中频域分析主要通过傅里叶变换等方法对信号的功率谱、幅值或相位谱进行分析。时频分析法(如小波分析)常用于分析时变非平稳信号,它能同时提供频域和时域的联合分部信息。本文对声发射信号采用振铃分析法,即先对声发射信号进行频域分析,在频域中找出不随时间变化的频率范围,然后进行去噪处理,滤除信号中的奇异点和噪声信号,最后对信号进行时域振铃分析。所谓声发射振铃分析即在时域中给定一个阈值(门槛电压),超过阈值的尖峰信号则记为一次振铃。研究表明,声发射振铃数与信号的能量

相关,因此时域振铃数和信号能量具有异曲同工之效,但前者方便、快捷、直观,有其他方法无法替代的优点。图3即为铣削过程中声发射信号振铃柱状图,由图可知:一方面随着铣削长度(铣削时间)增加,声发射振铃数整体呈增大趋势,这是因为刀具磨损随铣削长度增大而加剧;另一方面刀具磨损具有明显间歇性,铣削至1m-2m、10m-17m、22m-29m、35m-37m时声发射信号最丰富,表明刀具磨损较快,其中在铣削35m-37m时振铃数较之前明显增多,可以判定此刻刀具进入急剧磨损状态。可见,由声发射振铃数能够清晰地看出刀具在哪些时间点磨损较快、出现非正常磨损等,与传统停下机床观测刀具磨损值相比具有明显的优势。

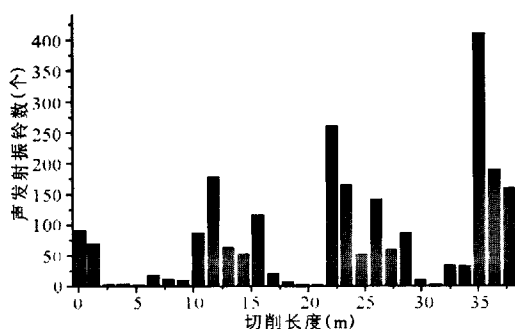


图3 铣削过程中声发射振铃数

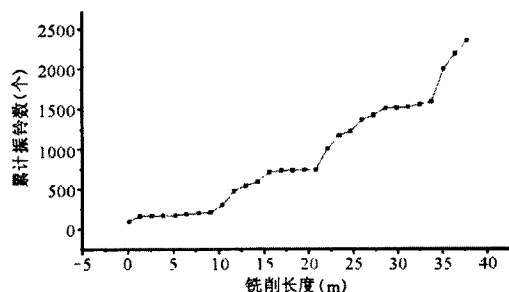


图4 声发射累积振铃曲线

如上所述,声发射是材料局部破裂瞬间释放的弹性波,因此单个声发射振铃数是对应单一点(时刻)的刀具磨损,为了描述声发射信号的连续性,引入累积振铃数的概念,某一点的累积振铃数即为前面所有点的振铃数之和。这一概念类似于刀具磨损值,试验过程中每次观测到的某一时刻刀具的磨损值实则是前面不同时刻磨损值的累积。通过这一类比可知,声发射累积振铃曲线和刀具磨损曲线具有很大相似性,这样就可以用累积振铃曲线来近似代替刀具磨损曲线进行刀具磨损分析。图4即为本次试验声发射累积振铃曲线,可以看出刀具铣削35m后进入急剧磨损状态。

4 结语

本文主要研究分析了声发射技术在刀具磨损监测上的应用,针对这一问题,文章采用理论分析和试验验证相结合的方法,首先通过正交试验对声发射在线监测刀具磨损进行可行性分析,然后以硬质合金铣刀铣削TC4钛合金为例,对声发射监测刀具磨损进行试验验证。以上结果表明:

(1)刀具主切削刃后刀面磨损量对声发射信号影响较为显著,采用声发射技术在线监测刀具磨损是可行的;

(2)声发射时域振铃分析清晰,再现了刀具在不同时刻的磨损情况,将刀具磨损过程可视化、直观化。声发射累积振铃曲线能够近似替代刀具磨损曲线,有利于进一步对刀具进行磨损分析。

参考文献

- [1] Herbert Schulz, Eberhard Abele, 何宁. 高速加工理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
 - [2] 温松明, 王庆明, 林丞. 钻尖磨损形态[J]. 湖南大学学报, 1992, 19(1): 14-17.
 - [3] 孙艳红. 微钻头折断机理及钻削力在线监测的研究[D]. 吉林大学博士学位论文, 2009.
 - [4] 李培根. 钻头磨损状态的模糊识别方法[J]. 华中理工大学学报, 1988, 16(2): 93-98.
 - [5] 刘国华. 声发射信号处理关键技术研究[D]. 浙江大学博士学位论文, 2008.
 - [6] X H Wang, C M Zhu, H L Mao, et al. Wavelet packet analysis for the propagation of acoustic emission signals across turbine runners [J]. NDT&E International, 2009, 42(1): 42-46.
 - [7] A Velayudham, R Krishnamurthy, T Soundarapandian. Acoustic emission based drill condition monitoring during drilling of glass/phenolic polymeric composite using wavelet packet transform [J]. Materials Science and Engineering, 2005; 141-145.
 - [8] 徐涛, 雷华, 于杰, 等. 不同结晶状态的聚丙烯材料的声发射研究[J]. 高等学校化学学报, 2001, 22(10): 1757-1760.
 - [9] 庄子杰. 基于声发射和振动法的刀具磨损状态检测研究[D]. 上海交通大学硕士学位论文, 2009.
- 第一作者: 胡江林, 上海工具厂有限公司, 200093 上海市
First Author: Hu Jianglin, Technology Center of Shanghai Tool Works, Shanghai 200093, China