

用最大熵谱法分离切削声发射信号的研究

张耀辉 徐荣葆

(精密机械与仪器系)

摘要 对金属切削过程中不同声发射源的信号进行分离,是声发射技术用于切削状态监控以及提高其可靠性的关键。文中采用宽频带测试系统和最大熵谱分析方法,对车削过程中众多声发射源的声发射信号进行了分离实验研究。结果表明,在频域内进行不同声发射源的声发射信号的分离是可行的。

关键词 声发射, 切削, 监控; 信号分离

分类号 TG501, TH113.1

引言

声发射(Acoustic Emission)简称AE,它是由于固体材料局部地区应力快速松弛而引起能量突然释放时在材料内部形成的一种应力波。金属切削过程中会产生丰富的AE信号。图1所示为金属切削过程中可能的声发射源^[1]。

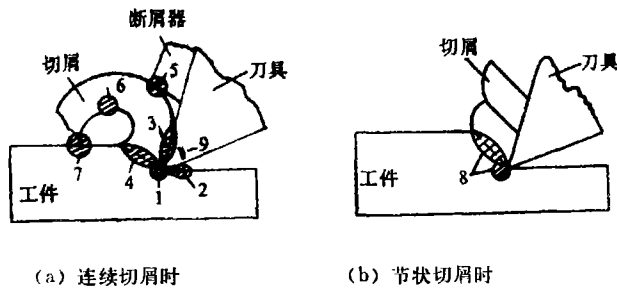


图1 金属切削过程中的声发射源

可能的声发射源是:(a) 工件材料的剪切塑性变形(图中4, 2和3);(b) 工件材料的开裂(1和8);(c) 工件材料、刀具、切屑及断屑器之间的摩擦(2, 3和5);(d) 切屑的折断与撞击(6和7);(e) 刀具的开裂、崩刃和断裂(9)。此外,金属切削过程中产生的积屑瘤和鳞刺也是强烈的声发射源。

随着AE技术的发展,AE技术在机械加工中的应用研究也越来越多,概括地讲,主要有以下几个方面:

- (1) 刀具磨损和破损的监控^[2~4];
- (2) 切削过程研究^[5~6];
- (3) 磨削过程监控^[7~8];
- (4) 在超精密加工中的应用^[9];
- (5) 切削声发射信号特性的研究^[10~12]。

然而,目前的研究者,不论用于什么目的,都是综合地测AE信号,把几种不同来源的AE信号都混在一起,这样就很难分清因果关系,也就不可能很好地应用AE信号对金属切削过程进行深入研究和可靠地监控。因此,对切削过程中不同声发射源产生的AE信号进行分离,是AE技术在机械加工中应用成败的关键。

1 AE信号分离实验方法

我们研究AE信号分离的实验是在车削中进行的,实验中用的AE信号测试系统如图2所示。金属切削过程中的AE信号由宽频带AE传感器检出后,经过放大和滤波,再用视频信号记录仪进行记录,以便于事后分析。AE信号经数字示波器采样后,通过GP-IB接口输入计算机进行存储和分析。

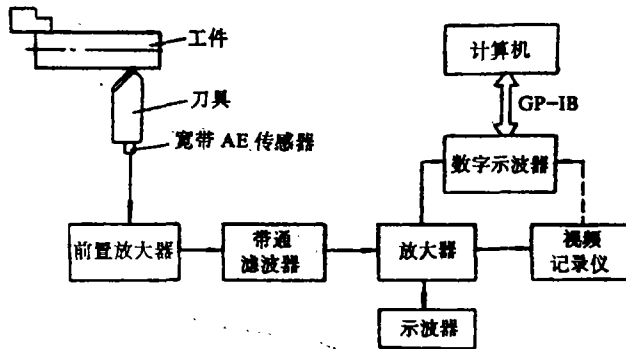


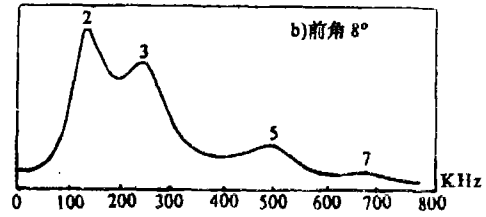
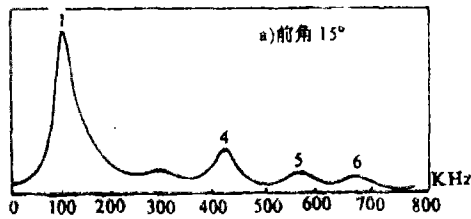
图2 声发射信号测试系统

目前可采用的AE信号分析方法有很多种,最常用的是振铃记数法、事件记数法和RMS值法。为了有效地找出AE信号的频域特征,以便把它们分离,本文中所用的AE信号分析方法为最大熵谱法。最大熵谱法是一种现代谱分析方法,其基本思想是:对所观测的有限数据以外的数据不作任何确定性的假设,而仅仅假设它是随机的,在信息熵为最大的前提下,将未知的那一部分相关函数用迭代方法递推出来,从而求得功率谱。与经典的Fourier分析方法相比,最大熵谱法具有估计误差小、分辨力高的特点。因此,用最大熵谱法来研究AE信号的分离是十分合适的。

2 实验分析

在以下的车削实验中,工件材料为硬铝LY12CZ,刀具材料为高速钢W18Cr4V,刀具主偏角为 90° ,副偏角为 14° ,刃倾角为 0° ,切削深度为 0.5mm ,走刀量为 0.09mm/r ,切削速度为 32m/min ,

I 工件材料塑性变形及摩擦对应的 AE 信号的分离



1(102069Hz, $2.8E+03$), 4(422069Hz, $7.5E+02$)
 5(569655Hz, $3.5E+02$), 6(684138Hz, $2.9E+02$)

2(136552Hz, $2.5E+03$), 3(244188Hz, $1.9E+03$)
 5(497931Hz, $7.0E+02$), 7(689655Hz, $2.9E+02$)

ME谱图

ME谱图

采样点数 $N = 1024$

采样周期 $t = 0.50\mu s$

采样点数 $N = 1024$

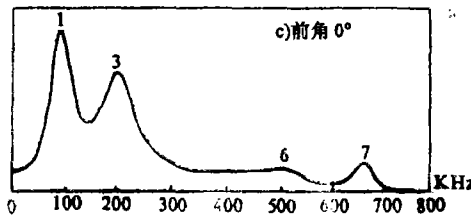
采样周期 $t = 0.50\mu s$

频率分辨率 $f = 1379.3\text{Hz}$

AR模型阶数 $M_0 = 16$

频率分辨率 $f = 1379.3\text{Hz}$

AR模型阶数 $M_0 = 12$



1(92414Hz, $2.4E+03$), 3(208897Hz, $1.8E+03$)
 6(535172Hz, $3.5E+02$), 7(695172Hz, $4.4E+02$)

ME谱图

采样点数 $N = 1024$

采样周期 $t = 0.50\mu s$

频率分辨率 $f = 1379.3\text{Hz}$

AR模型阶数 $M_0 = 15$

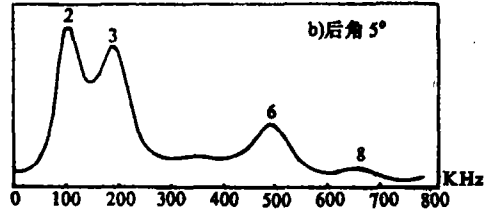
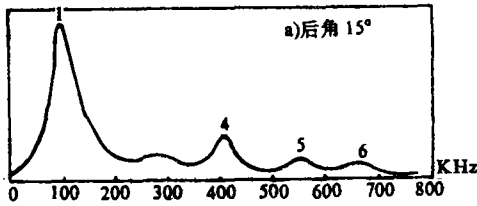
图3 前角变化时的AE信号谱图

在其它条件不变的情况下，分别改变刀具的前角和后角进行实验。根据切削原理可知，在形成带状切屑的情况下，如果不出现积屑瘤和鳞刺，则主要的 AE 源为工件材料塑性变形和加工过程中的摩擦。

图3所示为在后角为 15° 时，分别用前角为 15° ， 8° 和 0° 的刀具进行车削时对应的 AE 信号的谱图。由图可以看出，切削时出现了 100KHz 和 200KHz 左右的频率分量。由于前角减小时，刀-屑接触面上的摩擦加剧，伴随出现 200KHz 左右的频率分量，而前角增大时， 200KHz 左右的频率分量消失，因此， 200KHz 左右的频率分量是由刀-屑接触面上的摩擦引起的。 100KHz 左右的频率分量自始至终都存在，而工件材料的塑性变形也是自始至终都存在，所以 100KHz 左右的频率分量是由工件材料的塑性变形引起的。

图4所示为在前角为 15° 时，分别用后角为 15° 和 5° 的锋利刀具和后角为 15° 、后刀面磨损带宽度 $VB = 0.3\text{mm}$ 的磨钝刀具进行车削时对应的 AE 信号的谱图。与上述情况类似， 200KHz 左右的频率分量是由刀-工之间的摩擦引起的， 100KHz 左右的频率分量是由工件材料塑性变形引起的。

在图4b中，出现了 500KHz 左右的频率分量，在对应的切削实验中，在工件表面



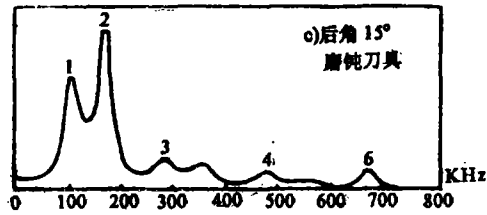
1(102069Hz, $2.8E+03$), 4(422069Hz, $7.5E+02$) 2(107586Hz, $1.4E+03$), 3(194483Hz, $1.2E+03$)
 5(569655Hz, $3.5E+02$), 6(684138Hz, $2.9E+02$) 6(502069Hz, $5.6E+02$), 8(674483Hz, $1.7E+02$)

ME谱图

ME谱图

采样点数 $N=1024$ 采样周期 $t=0.50\mu s$
 频率分辨率 $f=1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0=16$

采样点数 $N=1024$ 采样周期 $t=0.50\mu s$
 频率分辨率 $f=1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0=16$



1(110345Hz, $3.2E+03$), 2(177931Hz, $4.6E+03$)
 3(289655Hz, $8.0E+02$), 4(485517Hz, $4.8E+02$)
 6(685517Hz, $5.2E+02$)

ME谱图

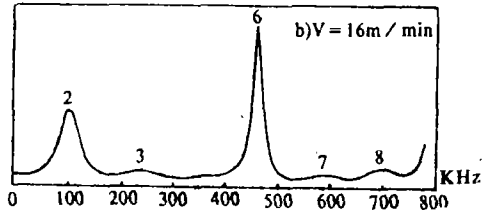
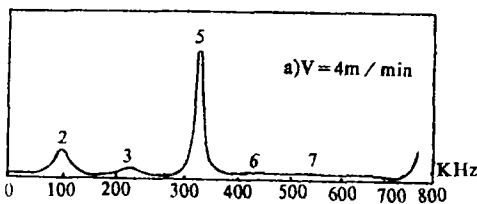
采样点数 $N=1024$ 采样周期 $t=0.50\mu s$
 频率分辨率 $f=1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0=20$

图 4 后角变化时的 AE 信号谱图

观察到了鳞刺，故可推断 500KHz 左右的频率分量是由于鳞刺形成而产生的，详细分析如下。

2 积屑瘤、鳞刺对应的 AE 信号的分离

为了进一步分析形成积屑瘤和鳞刺时对应的 AE 信号的谱特征，用前角为 15°，后角为 15° 的锋利刀具，在形成带状切屑的条件下，改变车削速度进行了实验，对应的 AE 信号谱图如图 5 所示。在这种切削条件下，主要的声发射源为工件材料的塑性变形



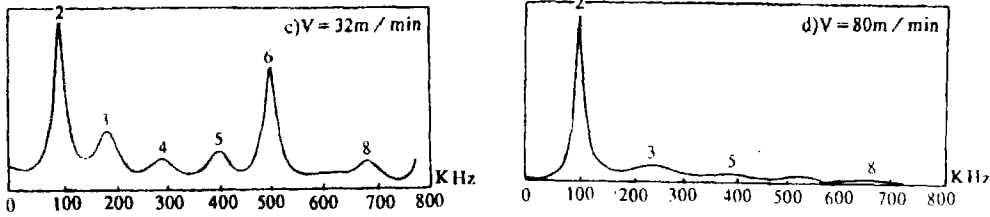
2(108966Hz, $4.3E+02$), 3(241379Hz, $1.6E+02$) 2(108966Hz, $8.3E+02$), 3(248276Hz, $1.8E+02$)
 5(372414Hz, $2.4E+03$), 6(481379Hz, $1.1E+02$) 6(474483Hz, $1.7E+03$), 7(605517Hz, $1.4E+02$)
 7(590345Hz, $1.2E+02$) 8(714493Hz, $2.2E+02$)

ME谱图

ME谱图

采样点数 $N=1024$ 采样周期 $t=0.50\mu s$
 频率分辨率 $f=1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0=17$

采样点数 $N=1024$ 采样周期 $t=0.50\mu s$
 频率分辨率 $f=1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0=18$



2(99310Hz, $1.0E+03$), 3(195862Hz, $3.9E+02$) 2(104828Hz, $1.4E+04$), 3(252414Hz, $1.5E+03$)
 4(300690Hz, $2.1E+02$), 5(411034Hz, $2.5E+02$) 5(402759Hz, $8.3E+02$), 8(674483Hz, $4.3E+02$)
 6(511724Hz, $8.0E+02$), 8(699310Hz, $1.9E+02$)

ME谱图

ME谱图

采样点数 $N = 1024$ 采样周期 $t = 0.50\mu s$ 采样点数 $N = 1024$ 采样周期 $t = 0.50\mu s$
 频率分辨率 $f = 1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0 = 20$ 频率分辨率 $f = 1379.3Hz$ AR模型阶数 $M_0 = 16$

图 5 形成鳞刺时的AE信号谱图

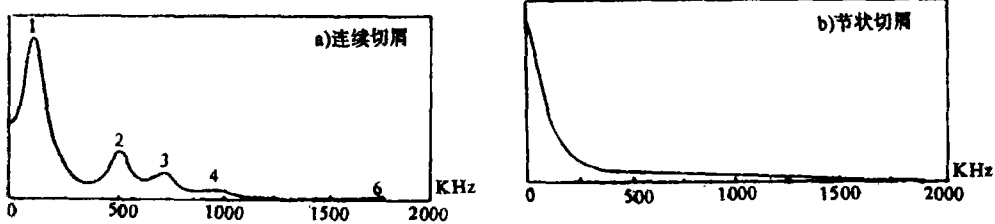
以及切削过程中形成的积屑瘤和鳞刺。

在图 5 中, a, b, c 情况工件表面出现了很均匀的鳞刺, 对应的谱图中出现了 100~500KHz 左右的频率分量。图 5d 情况工件表面没有出现鳞刺, 对应的谱图中在 400~500KHz 左右没有出现明显的频率分量。由此可知, 积屑瘤、鳞刺形成时对应的 AE 信号频率在 100~500KHz 左右。

由图 5a, b, c 还可看出, 随着切削速度的升高, 鳞刺形成频率升高, 对应的 AE 信号频率也从 100KHz 左右升高到 500KHz 左右。随着切削速度的升高, 工件表面鳞刺随之减小, 对应的 AE 信号频率分量的能量随之减小。

3 切屑折断对应的 AE 信号的分离

为了找出断屑时 AE 信号的谱特征, 用带断屑槽的刀具进行了车削实验, 切削过程中形成断续切屑, 对应的 AE 信号谱图如图 6b 所示。图 6a 所示为用不带断屑槽的刀具进行切削形成带状切屑时对应的 AE 信号谱图。由图可以看出, 形成带状切屑时, AE 信号



1(120690Hz, $5.9E+03$), 2(544828Hz, $1.7E+03$) ME谱图
 3(758621Hz, $9.6E+02$), 4(1013793Hz, $3.1E+02$) 采样点数 $N = 1024$ 采样周期 $t = 0.20\mu s$
 6(1806897Hz, $1.9E+01$) 频率分辨率 $f = 3448.3Hz$ AR模型阶数 $M_0 = 6$

ME谱图

采样点数 $N = 1024$ 采样周期 $t = 0.20\mu s$
 频率分辨率 $f = 3448.3Hz$ AR模型阶数 $M_0 = 20$

图 6 带状屑与断屑时的 AE 信号谱图

基本上没有 1MHz 以上的频率分量存在, 而断屑时, 直至 2MHz 的频率范围内, 均有明显的频率分量存在, AE 信号谱图接近宽带随机噪声信号的谱图。这是二者的区别所在。

4 刀具破损时对应的 AE 信号的分离

为了研究刀具破损时 AE 信号的谱特征, 在工件内埋入了一个 $\phi 1$ 的小钻头, 使刀尖切到小钻头时造成刀具破损。在实验切削条件下, 刀具切到 $\phi 1$ 小钻头时, 刀尖一般崩掉 0.1mm 左右。图 7 所示为一个典型的刀具破损时的 AE 信号谱图。比较图 7 和图

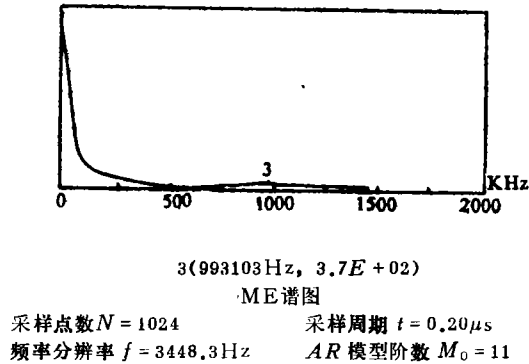


图 7 刀具破损时的 AE 信号谱图

6b 可知, 刀具破损时与断屑时的 AE 信号谱图是十分相似的, 但实验中发现, 刀具破损时 AE 信号谱图在 1MHz 附近总是存在一个小峰。这是刀具破损时 AE 信号谱图区别于断屑时 AE 信号谱图的一个特征。

5 切削条件对 AE 信号谱特征的影响

以上是在特定条件下进行实验所得到的结果。为了研究切削条件对 AE 信号谱特征的影响, 改变切削用量和工件材料 (铝 LY12CZ, 45 钢, 灰铸铁) 进行了实验, 结论如下:

- (1) 对于同一种工件材料, 改变切削用量时对 AE 信号的谱特征基本上没有影响。因此, 上述在特定切削用量下得出的实验结果具有一般性。
- (2) 切削不同塑性材料时的 AE 信号谱特征基本一致, 而切削脆性材料时与切削塑性材料时的 AE 信号谱特征却不同。

3 结 论

根据以上实验分析, 我们可以得出如下结论:

1. 工件材料塑性变形对应的 AE 信号频率在 100KHz 左右。
2. 切削过程中的摩擦对应的 AE 信号频率在 200KHz 左右。
3. 积屑瘤和鳞刺对应的 AE 信号频率大约在 400KHz 至 500KHz 之间变化。
4. 切屑折断和撞击对应的 AE 信号具有宽带随机噪声的性质。
5. 刀具破损对应的 AE 信号与断屑对应的 AE 信号具有类似的特征, 但在 1MHz 附近有一个较强的频率分量。
6. 切削不同塑性材料时的 AE 信号谱特征相似, 而切削脆性材料时与切削塑性材料时的 AE 信号谱特征却不同。

参 考 文 献

- [1] Moriwaki T. Application of Acoustic Emission Measurement to Sensing of Wear and Breakage of Cutting Tool. Bull Japan Soc of Prec Engg, Vol.17, No.3
- [2] Iwata K, Moriwaki T. An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear. Annals of the CIRP. Vol. 25(1)1977
- [3] Moriwaki T. Detection for Cutting Tool Fracture by Acoustic Emission Measurement. Annals of the CIRP. Vol. 29(1)1980
- [4] Kakino Y, et al. In-process Detection of Thermal Crack of Cutting Tool by Making Use of Acoustic Emission. Bull Japan Soc of Prec Engg, Vol. 17, No. 4 (1983)
- [5] Kunio Uehara et al. Identification of Chip Formation Mechanism Through Acoustic Emission Measurements. Annals of the CIRP. Vol. 33(1)1984
- [6] Toshiaki Kaneeda, Hideo TSUWA. Detecting Fracture Phenomena in Separation Process at Tool Tip in Metal Cutting by Acoustic Emission Technique. Bull Japan Soc of Prec Engg, Vol. 13. No. 3
- [7] EDA H. In-process Detection of Grinding Cracks by the Use of Acoustic Emission. Bull Japan Soc of Prec Engg, Vol. 19. No. 3
- [8] Inasaki I. Monitoring of Dressing and Grinding Process with Acoustic Emission Signals. Annals of the CIRP. Vol. 34(1)1985
- [9] Zhang Yaohui, Xu Rongbao. High Precision Tool Adjustment Set-up by Acoustic Emission. The first Sina-Japan Joint Academic Symposium on Ultra-precision Machining in Shanghai, China, 1987
- [10] Dornfeld D A, et al. Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting. Transactions of the ASME. Vol. 103. August 1981
- [11] Diet E N, Dornfeld D A. Acoustic Emission from the Face Milling Process the Effects of Process Variables. Sensors and Controls for Manufacturing. PED-Vol. 18
- [12] Dornfeld D A, He Gao Cai. An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission. Transactions of the ASME. Vol. 106

A Study on the Separation of Cutting Acoustic Emission Signals by Maximum Entropy Spectrum Method

Zhang Yaohui Xu Rongbao

Abstract

At present, there are many studies on the monitor of cutting tool wear and breakage and on the monitor of the shape of chips by acoustic emission(AE).

In metal cutting process, there are several different AE sources. Moreover, these different AE signals mix with one another. So, the separation of these different AE signals is the key to the monitor of cutting state by AE. In this paper, the separation of the different AE signals in turning process is studied experimentally by making use of a measurement system with wide frequency band and the analysis method of maximum entropy spectrum. The experimental results show that the separating different AE signals in frequency domain is feasible.

Key words: acoustic emission, cutting, monitor, signal separation