

基于声音信号的冷挤压内螺纹加工状态研究^{*}

Research on Forming Condition of Internal Thread Formed by Cold Extrusion Based on Sound Signal

南京航空航天大学机电学院 张 敏 黎向锋 左敦稳 缪 宏

[摘要] 基于声音信号对冷挤压内螺纹加工状态进行研究,为内螺纹冷挤压成形过程在线监测提供依据。试验分析结果表明:冷挤压内螺纹加工状态不同,成形过程中机床声音信号变化较为剧烈;丝锥处于均匀磨损状态时,机床声音信号频率主要分布在300~1000Hz之间,且主频分布稳定;丝锥处于严重磨损状态时,机床声音信号能量及主频分布变化均较为明显。成形过程机床声音信号能量在初始阶段有一个下降过程,并随之趋向平稳;但随着丝锥磨损量的进一步增大,机床声音信号能量呈现逐渐上升趋势;且随着丝锥磨损的加剧,机床声音信号中高频部分能量占总能量的比例将越来越高。

关键词: 内螺纹 冷挤压 数字信号处理

[ABSTRACT] Different forming conditions of internal threads formed by cold extrusion are studied so as to apply basis for the online monitoring of cold extrusion processing. The experiment result shows that the lathe sound signal changes greatly in different forming conditions. While screw tap is uniform abrasion, the frequency of lathe sound lies mainly in the rage from 300Hz to 1000Hz, which keeps steady. During its severe abrasion, the signal power and its dominant frequency distribution have apparent changes. The lathe sound signal power declines in the start of tap machining process, and then intends to be stable. The lathe sound signal power reveals a general trend of increase along with the serious abrasion of screw tap. Meanwhile, high frequency power is riding for the total power of lathe sound.

Keywords: Internal thread Cold extrusion Digital signal processing

飞机起落架是飞机的重要承力部件,在飞机安全起降过程中担负着极其重要的使命。随着飞机安全性要求的提高,设计人员面临着新的挑战,需要设计出更为安全的起落架。考虑到飞机起落架中许多零件采用螺

纹联接,在飞机着陆、滑跑过程中会承受强大的交变剪切载荷。因此,起落架螺纹联接的可靠性对起落架的使用寿命起着至关重要的作用。

冷挤压内螺纹成形工艺已成为当今起落架抗疲劳加工的一个发展趋势,其优势在于能保持冷挤压后内螺纹的表面和次表面的冷作硬化状态,从而提高其强度和硬度,进而可提高其疲劳寿命。传统的内螺纹冷挤压成形工艺仅适合于强度低、塑性好的有色金属以及低碳钢的加工。飞机、高速列车等关键部件工作于高速、动载、大负荷的环境中,其内螺纹需要采用高强度钢进行加工,Q460是一种国产新型低合金高强度钢,常应用于飞机起落架制造,其不仅具有较高强度,而且具有良好的横向塑性和断裂韧性,塑性成形抗力大,其冷成形技术难度很大。目前,国内在此领域的研究还处于起步阶段,国外的相关文献极其匮乏。

Q460高强度钢内螺纹冷挤压成形过程中,机床声音直接反映成形过程的平稳性。随着丝锥磨损的不断加剧,冷挤压成形过程的扭矩逐渐增大,机床主轴箱齿轮啮合情况也随之变化,由此导致其声音信号发生变化。本文对不同丝锥磨损状态下的内螺纹冷挤压成形过程的机床声音信号进行了检测,并在数字信号处理方法基础上分析讨论了其影响规律。

1 试验方案

M22×1.5mm Q460高强度钢内螺纹的冷挤压加工试验在国产6250机床上进行,挤压丝锥为圆锥式棱齿结构,其材料为M35高速钢,表面进行氮化铝钛处理。内螺纹挤压成形采取一次挤压成形工艺,根据已有试验结果,选取的优化工艺参数为:机床转速25r/min,试样底孔直径为 $\phi 21.25\text{mm}$,加工螺纹长度为20mm,采用PDMS聚二甲基硅氧烷润滑油对挤压丝锥进行冷却润滑。

Q460高强度钢内螺纹冷挤压加工声音测试系统结构简图如图1所示,采用声级计测量加工过程中的声音信号,通过RS232接口,经由数据采集卡输入计算机。根据挤压丝锥的不同磨损程度以及加工工件的质量,正常加工过程可以分为初始加工、正常磨损、严重磨损3

^{*} 空装“十一五”预研项目。

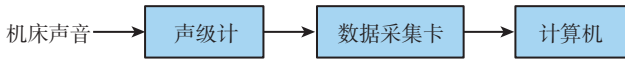


图1 声音测试系统结构简图
Fig.1 Structure chart of sound test system

个阶段。当丝锥严重磨损之后,继续加工如出现工件打滑、丝锥断裂等情况定义为加工异常情况,则内螺纹冷挤压加工状态共有初始加工、正常磨损、严重磨损以及加工异常 4 个阶段。

在采集机床声音信号之前,需要确定采样频率和采样位置,以确保采集到的声音信号为该机床声音的综合体现。试验过程中发现,在正常加工条件下,由于机床处于低速运转状态,其声音频率一般分布于 1kHz 以下范围内,因此,试验过程中对机床声音信号的采样频率选择为 5kHz,能够满足其频域分析要求。从机床噪声的主要来源分析,决定在图 2 中机床主轴附近和主轴箱附近两个位置中选取一个位置。

图 2 中‘1’的位置主要测量的是加工过程中挤压丝锥与工件表面加工摩擦时的声音;‘2’的位置主要测量的是机床主轴箱的声音,包括电机、齿轮啮合等。本文最终选取在‘2’位置处进行声音测量,原因主要考虑到:(1)加工者的工作位置以及发生加工异常时对仪器的破坏问题;(2)

‘2’处的信号中也大量包含了‘1’处的信号,不同加工状态通过电机转动和齿轮啮合的声音变化能够得到有效的反映。试验过程中发现,当丝锥严重磨损时,丝锥与工件之间出现的加工刺耳声音在‘2’处声级计中采集到的信号能够得到有效体现。

2 信号分析结果与讨论

2.1 信号的时域分析

图 3 所示为机床空转时的声音信号波形图,转速为 25r/min。图 4 为 4

种不同加工状态下内螺纹冷挤压过程中的声音信号波形。从图 3 和图 4 可以看出:加工状态变化对声音信

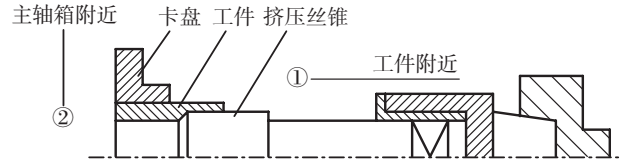


图2 声音信号测量点的选取
Fig.2 Choice of sound signal test position

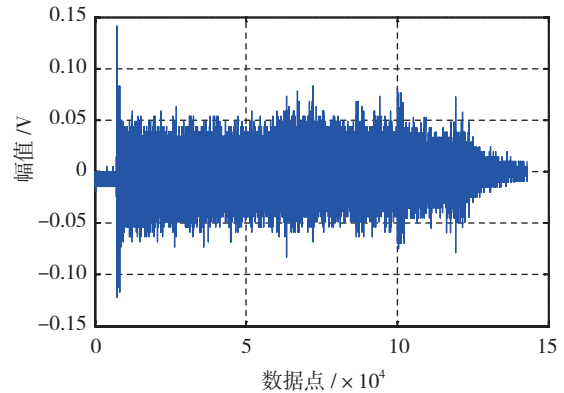
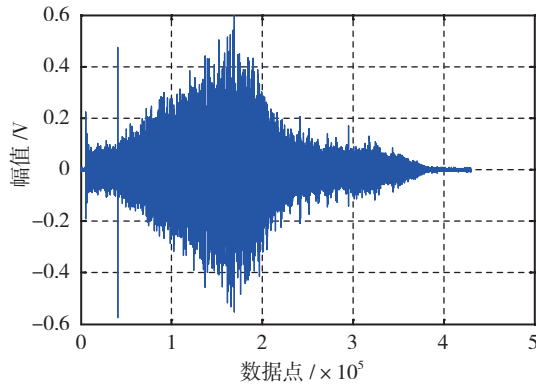
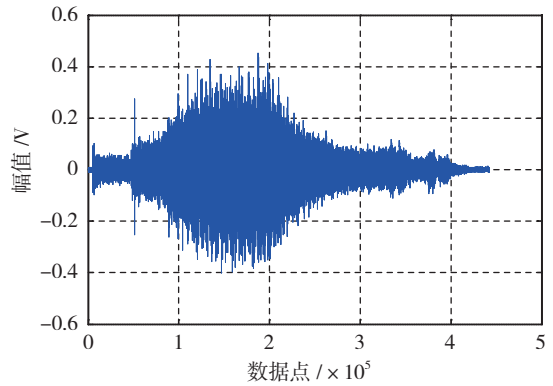


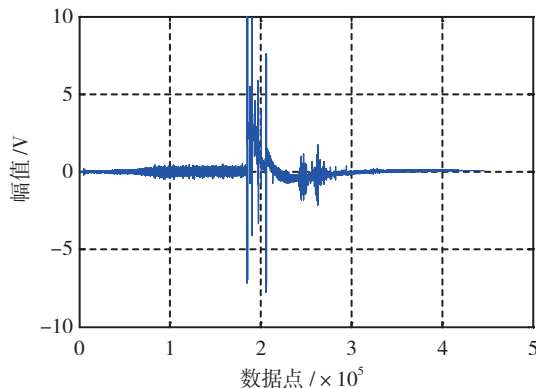
图3 机床空转声音信号波形图
Fig.3 Sound signal wave of idle lathe



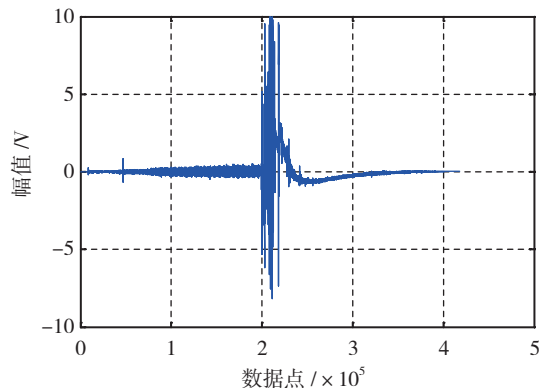
(a) 初始加工



(b) 正常磨损



(c) 严重磨损



(d) 加工异常

图4 不同加工状态下声音信号波形图

Fig.4 Sound signal waves in different forming conditions

号的影响比较大。机床空转声音信号较小且波动较小；在初始加工过程中，声音信号起伏较大；丝锥处于正常磨损阶段，加工过程中声音信号变化平稳；当丝锥加工进入严重磨损状态时，试验中由于丝锥与工件摩擦的加剧，发出刺耳的声音，声音信号的波形图已发生异常，在加工异常阶段则更为明显。

2.2 信号的频域分析

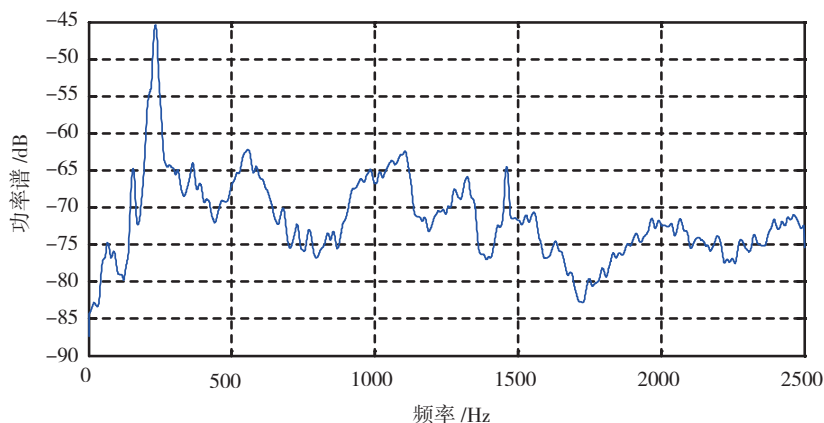


图5 机床原始声音信号功率谱估计结果

Fig.5 Power spectrum of original sound signal for lathe

图5为机床空转条件下的声音信号 Welch 功率谱估计结果，图6为不同加工状态下声音信号的功率谱估计结果。由图5和图6可知：(1)加工状态下功率谱的前三主频里没有出现机床空转时的最大主频 233Hz；(2)四种典型加工状态下，仅有 969Hz 频率处的峰值始终存在；(3)内螺纹冷挤压加工过程中，声音信号的功率谱变化很大，主频分布变化也比较明显。丝锥由初始加工发展到正常磨损阶段，存在着明显的声音信号回落到平稳状态的过程。

2.3 信号的时频域分析

小波分析是信号时频域分析的常用手段之一，试验过程中采样频率为 5000Hz，由香农定理可知，信号分析的有效频率为 2500Hz，对振动信号进行 5 层小波分解，则其第一频带到第六频带范围分别为：0~78.1Hz、78.1Hz~156.25Hz、156.25Hz~312.5Hz、312.5Hz~625Hz、625Hz~1250Hz 和 1250Hz~2500Hz。

图7为机床空转时声音信号小波分解后各频带能量分布示意图，图8为不同

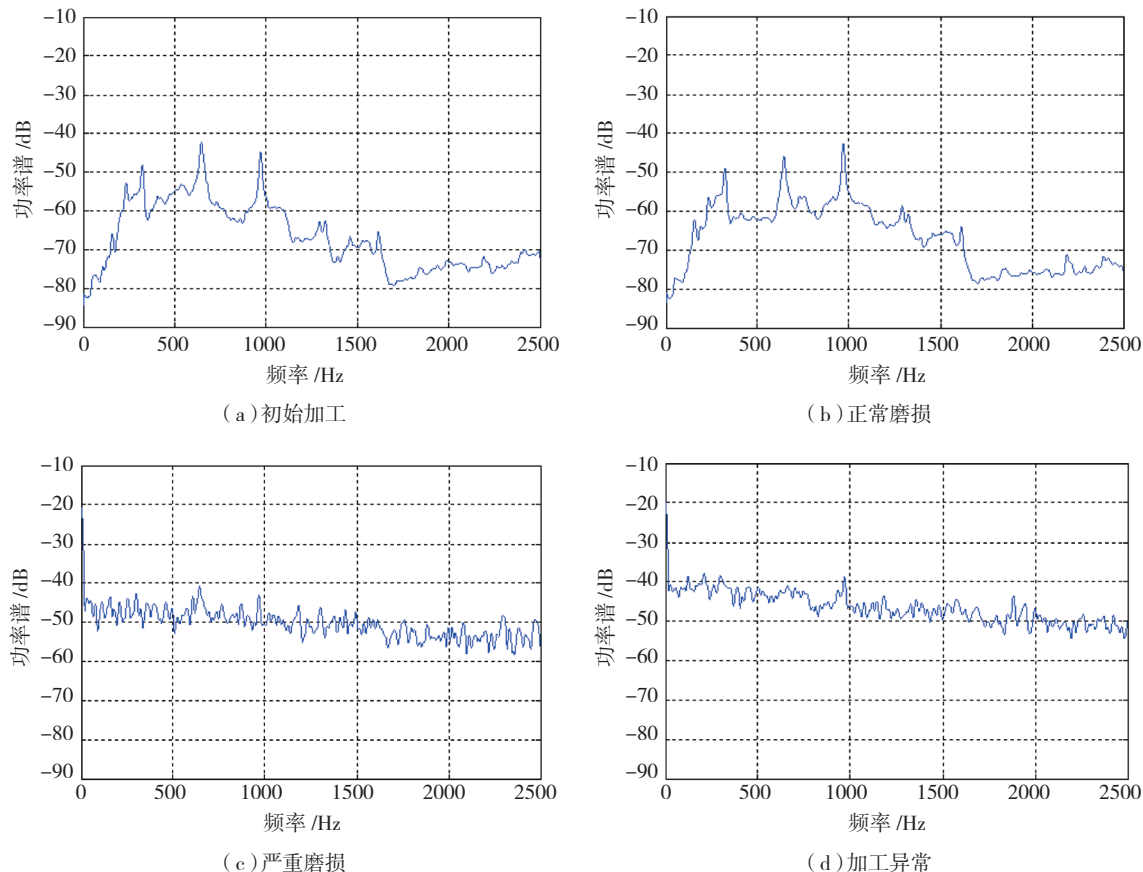


图6 不同加工状态下声音信号功率谱估计结果

Fig.6 Power spectrums of sound signal in different forming conditions

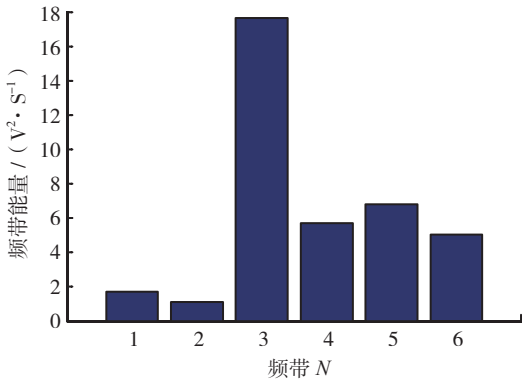


图7 机床空转声音信号小波分析能量分布
Fig.7 Scatter gram of wavelet transformation for sound signal of idle lathe

加工状态下声音信号的小波分解后各频带能量分布示意图。可以看出,在机床开始加工后,声音信号能量变化显著,且能量分布规律也不同;机床空转时能量主要分布在第三频带,加工后能量集中区域明显向右偏移。由图8中(a)、(b)图可以看出,正常加工过程中,声音信号频率主要分布在第四和第五频带内。综合功率谱分析结果,即在300~1000Hz之间,与功率谱分析结果相对应,声音信号能量在经过初始加工阶段进入正常磨损阶段后,有一个略有下降的过程。在严重磨损以及加工异常阶段,声音信号能量发生急剧增加,高频段能量明显增大,由于幅值过大引起的直流干扰信号也严重影响了信号的能量分析。为了避免直流量的干扰,本文在参考初始加工及正常磨损阶段声音信号能量分布特点基

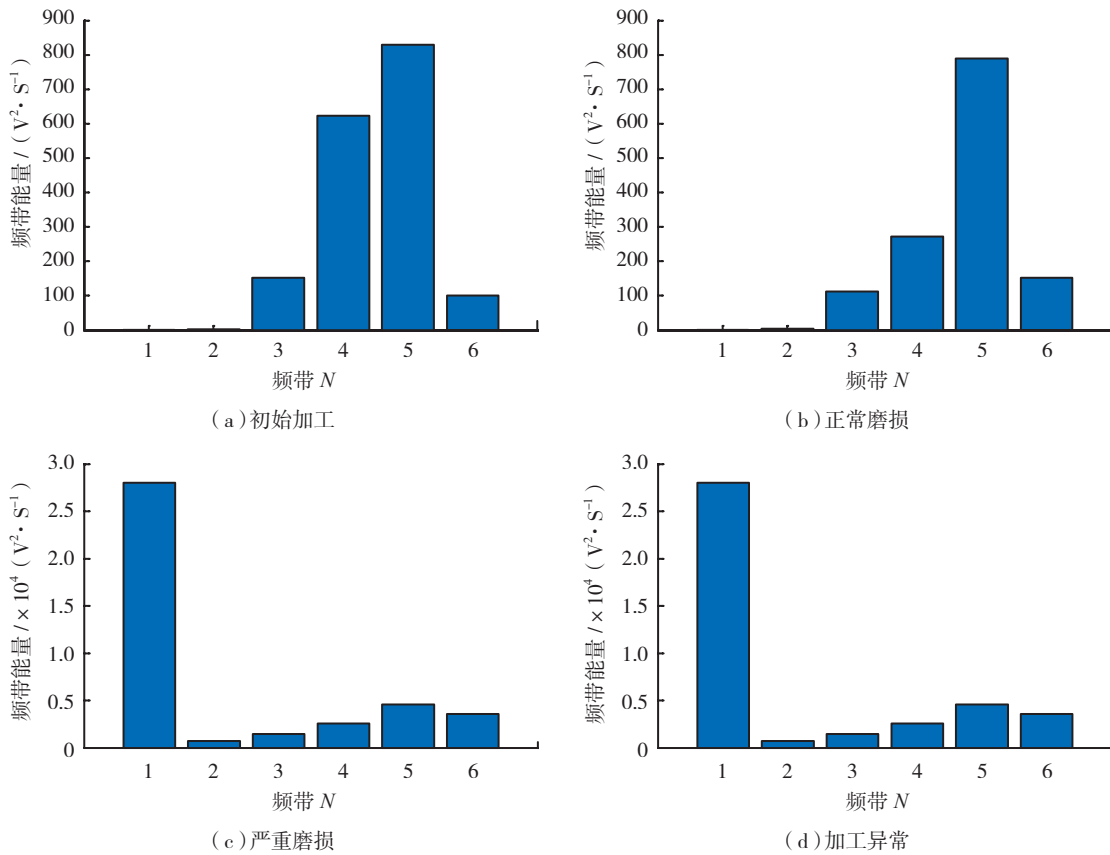


图8 不同加工状态下声音信号小波分析能量分布图
Fig.8 Power spectrums of sound signal in different forming conditions

础上,采取忽略第一频带能量的方法,来重点考察主要频段内信号能量的变化情况。

内螺纹冷挤压过程中声音信号主要能量分布在300~1000Hz之间,其第六频带的能量与信号各频带总能量的比反映了高频部分的异常。不同加工状态下声音信号小波分析能量比趋势图如图9所示。由图中可以看出,信号的能量比随着丝锥磨损程度的加剧,呈现

上升趋势,即信号高频部分所占信号总能量的比例越来越高。

3 结论

(1)不同加工状态下声音信号变化较为剧烈,正常平稳加工时,能量主要分布在300~1000Hz之间,主频分

(下转第91页)

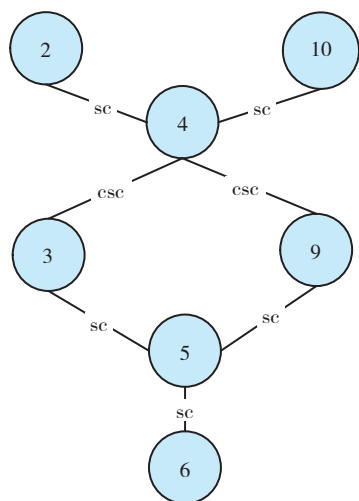


图10 装配体2的稳定性权重连接关系图
Fig.10 Stability weight connection relation graph of assembly part 2

Subassembly2={ 3,5,6,9 };

本算法求解得到的 II 型子装配体具有很好的稳定性和均衡性。

3 结论

本文建立了产品装配序列规划的稳定性权重连接关系图,基于该连接关系图,提出了分解子装配体的方法,给出了相似子装配体的概念,相似子装配体将功能和结构相似的子装配体归类在一起,这样能够将相同的子装配体由同一个工厂进行加工生产,满足现代产品分布式生产的要求。本文所求得子装配体具有很好的稳定性和均衡性。同时,本文所提出的算法对于 I 型子装配体和 II 型子装配体都能够很好地求解得到产品的子装配体。在今后的研究中,除了继续关注产品的零部件连接关系,还将研究各个零部件之间由于相互之间的干涉关系而形成的约束关系。同时对于子装配体之间的连接关系除了需要考虑各种连接零件之外还需要考虑其他的因素。

参考文献

- [1] Shan HB, Li SX, Gong DG, et al. Genetic simulated annealing algorithm-based assembly sequence planning. International Technology and Innovation Conference 2006 (ITIC 2006) CP 524:1573-1579.
- [2] Bourjault A. Contribution to a methodological approach of automated assembly. Automation Methodology in Manufacturing Industry, Paris, France, 1985: 12-46.
- [3] De Fazio T L, Whitney D E. Simplified generation of all mechanical assembly sequences. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987,3(6):640-658.
- [4] Homem de Mello LS, Sanderson AC. A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences. IEEE Trans

Robot Autom, 1991, 7(2):228-240.

[5] Yin ZP, Ding H, Li HX, et al. A connector-based hierarchical approach to assembly sequence planning for mechanical assemblies. Comput-Aided Des, 2003, 35:37-56.

[6] Dong TY, Tong RF, Zhang L, et al. A knowledge based approach to assembly sequence planning. Int J Adv Manuf Technol, 2007, 32:1232-1244.

[7] Chen WC, Tai PH, Deng WJ, et al. A three-stage integrated approach for assembly sequence planning using neural networks. Expert Syst Appl, 2008, 34:1777-1786.

[8] Li JR, Khoo LP, Tor SB. A Tabu-enhanced genetic algorithm approach for assembly process planning. J Intell Manuf, 2003, 14(2):197-208.

[9] Lee S, Shin YG. Assembly planning Based on subassembly extraction in Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation (Cincinnati,OH), 1990:1606-1611.

[10] 杨培林,朱均,陈晓南. 装配规划中装配体的表达及子装配体的识别. 西安交通大学学报, 1999, 33(12):40-43.

[11] 杨培林,陈晓南,庞宣明. 装配体中的联接关系及子装配生成方法的研究. 西安交通大学学报, 2004, 38(11):1136-1139.

[12] Tseng HE, Rong KL. A novel means of generating assembly sequences using the connector concept J Intell Manuf, 1999(10): 423-435.

(责编 晓立)

(上接第 86 页)

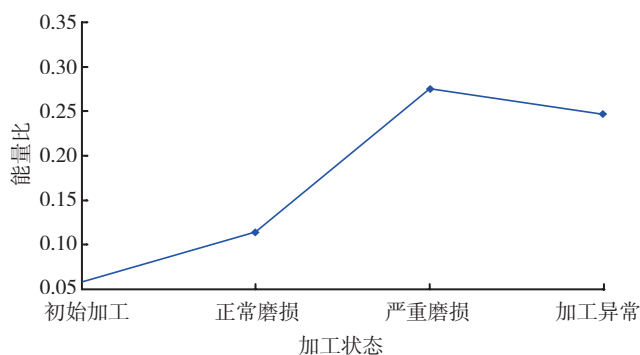


图9 不同加工状态下声音信号小波分析能量比趋势图
Fig.9 Tendency of wavelet energy ratio for sound signal in different forming conditions

布保持稳定,当丝锥严重磨损以及出现加工异常等情况时,声音信号能量急剧增加,且主频分布发生显著改变。

(2) 随着丝锥磨损量的增加,内螺纹冷挤压声音信号能量在开始加工后有一个略微下降的过程,在进入正常磨损阶段信号比较平稳,并随着磨损量的进一步增大而上升。

(3) 声音信号的高频能量比能够有效区分丝锥磨损形态;随着丝锥磨损量的加剧,五层小波分解后的高频能量比上升,高频部分所占比例越来越高;丝锥进入严重磨损阶段后,其高频能量比数值在 0.3 附近。

(责编 晓立)