

引文格式: 乔石, 刘阔, 都书博, 等. 基于功率信息的航空发动机叶片铣削刀具监测试验研究[J]. 航空制造技术, 2021, 64(16): 87-92, 110.  
 QIAO Shi, LIU Kuo, DU Shubo, et al. Research on monitoring test of milling tool for aero-engine blade based on power information[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(16):87-92,110.

# 基于功率信息的航空发动机叶片铣削刀具监测试验研究\*

乔石<sup>1</sup>, 刘阔<sup>1</sup>, 都书博<sup>2</sup>, 王鹏飞<sup>1</sup>, 王永青<sup>1</sup>

(1. 大连理工大学, 大连 116024;

2. 中国航发贵州黎阳航空动力有限公司, 贵阳 550000)

[摘要] 针对航空发动机叶片铣削加工过程中刀具加工状态不易实时监控、更换刀具依赖加工经验等问题, 利用基于功率信息的刀具状态监测方法, 开发了刀具状态监测系统。通过三相功率传感器实时采集加工过程中机床主轴的功率信号, 并对信号数据进行数据筛选、数据分析、离线学习, 计算出功率阈值区间, 以功率阈值区间为监测标准, 实现了对刀具加工过程的监测以及对刀具寿命的预测。以航空发动机压气机叶片的铣削加工过程为研究对象, 进行了刀具状态监测试验。结果表明, 基于功率信息的刀具状态监测方法可以实现对航空发动机叶片铣刀加工状态的实时监控及对刀具剩余寿命的预测。

关键词: 航空发动机叶片; 主轴功率; 离线学习; 刀具状态监测; 刀具寿命预测

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2021.16.087



乔石

硕士研究生, 研究方向为数控机床刀具加工状态监测及刀具寿命预测。

叶片是构成航空发动机压气机的基本单元, 其加工精度和表面质量直接影响航空发动机的性能。压气机叶片的加工过程具有加工难度高、数量多的特点<sup>[1]</sup>, 导致在加工过程中, 操作者不易实时用肉眼对刀具的加工状态进行监测和判断, 且换刀时机依赖经验, 刀具寿命不能被充分利用, 严重影响了加工效率, 增加了加工成本。因此, 如何实时监控和判断刀具加工状态并准时更换磨钝的刀具, 是叶片加工过程中需要解决的问题。

近年来, 随着传感器技术的不断革新, 刀具状态监测技术的研究得到

了迅速发展。Chen 等<sup>[2]</sup>通过对切削力、振动和声发射信号的研究, 预测了铣刀的磨损量; Huang 等<sup>[3]</sup>采集切削力和振动信号, 建立了数据训练模型, 预测了球头铣刀的磨损量; Shen 等<sup>[4]</sup>基于希尔伯特-黄变换 (HHT) 算法, 研究了主轴功率信号在不同切削条件下刀具状态监测中的应用; 付洋<sup>[5]</sup>通过对切削振动信号的研究, 实现了对刀具振动和磨损的实时在线监测; 王海丽等<sup>[6]</sup>使用功率信号和声发射信号建立了功率曲线的自回归时序模型, 实现了刀具状态的自动识别; 李聪波等<sup>[7]</sup>使用功率信号, 提出一种实时更新切削功率

\* 基金项目: 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1807081); 辽宁省科技重大专项(2020JH1/10100016)。

阈值的方法,实现了数控车削批量加工的在线监测。对以上文献研究发现,通过监测切削过程中产生的切削力、声音、振动、功率等信号,可以实现对刀具加工状态及磨损状态的监测,属于间接监测方法。与传统的直接测量刀具磨损量的方法相比,间接测量方法具有不影响加工过程、可以实时监测加工过程的优点,更适宜于加工中的状态监测<sup>[8]</sup>。

在众多间接监测方法中,切削力、振动和声发射信号这3种监测方法的灵敏度相对高,但需要对机床进行改造,其准确性受环境因素干扰<sup>[9]</sup>。而功率信号采集方便,抗干扰能力强,且功率传感器具有实用性强、对加工过程无影响等优点<sup>[10]</sup>,相比之下更能应用于实际生产加工。

本文针对上述叶片加工过程中存在的问题,将基于功率信息的刀具监测方法应用到叶片的铣削加工过程中,开发基于功率信息的刀具状态监测系统,对采集到的主轴功率数据进行数据预处理、数据分析、离线学习,利用比例系数法进行数据拟合,得到功率阈值区间,以功率阈值区间为标准对刀具加工过程进行实时监测,对刀具的已使用寿命进行预测。

## 基于功率信息的刀具监测方法

### 1 基于功率信息的刀具监测原理

在加工过程中,随着刀具磨损程度的增加,切削力和主轴扭矩不断增大,从而引起主轴功率增加。Cuppini等<sup>[11]</sup>基于功率信号提出了利用阈值的方式作为监控策略,认为在批量生产的过程中,同一工序的加工产生的功率信号呈周期性变化,可以保存一个周期内的功率信号,并以此作为基准将以后的每一次加工功率来进行对比,根据实际加工情况设定磨损阈值来进行监测。邵华等<sup>[12]</sup>将这种方法归纳为常阈值监控法。

在实际加工过程中,机床主轴功率除了受刀具磨损而变化外,也会因切削参数的不同而动态变化。主轴转速、进给速度、切削深度等加工参数都会实时影响切削功率<sup>[13-14]</sup>。所以,对于切削参数不固定的小批量加工,常阈值监控法容易造成阈值失效的问题。但是对于切削参数都固定的大批量流水线式加工,常阈值监控法有一定的实用性。

因此,对于切削参数固定的加工过程,将多个加工过程的主轴功率进行采集并分组学习,可以得到刀具加工状态功率阈值区间。以此功率阈值区间为监测标准,可以实现对刀具加工状态的监测,对于断刀、崩刃等加工过程中突发的加工异常情况,可以做到及时报警停机,减少经济损失,监测原理如图1所示。

此外,按照工步的不同,对刀具加工状态功率阈值区间的上阈值进行分段分析,可以了解各个工步中刀具磨钝时主轴功率的消耗情况,选取一个工步中的稳定波形区域,将其所有上阈值功率取均值<sup>[15]</sup>,可以以此均值作为该工步的刀具磨钝功率值,对刀具的磨损情况进行监测,判断一把刀具在该工步是否已经达到了严重磨损的标准。

### 2 功率阈值区间建立方法

对于采集到的各组主轴功率数据,通过算法对各组数据进行拟合,可以得到功率的上阈值和下阈值。在切削参数固定的条件下,每个加工过程采集到的功率其时间周期都是固定的,因此,可以利用比例系数法<sup>[12]</sup>对多组功率数据进行拟合。

刀具加工状态功率阈值区间 $P_u(t)$ 和 $P_d(t)$ 可表示为:

$$\begin{cases} P_u(t) = \bar{P}_u(t) + \sigma \cdot S_u(t) \\ P_d(t) = \bar{P}_d(t) - \sigma \cdot S_d(t) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $P_u(t)$ 和 $P_d(t)$ 分别为 $t$ 时刻的功率上阈值和下阈值,由加工周期

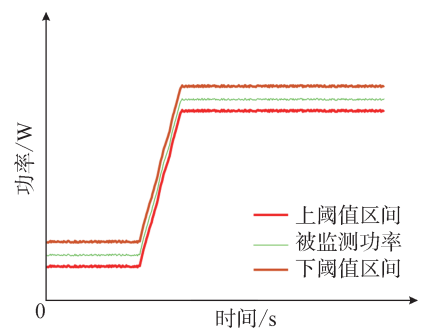


图1 基于功率信息的刀具监测原理  
Fig.1 Principle of tool monitoring based on power information

中各个时刻的 $P_u(t)$ 和 $P_d(t)$ 构成了功率阈值区间; $\bar{P}(t)$ 为 $t$ 时刻的功率均值; $\sigma$ 为比例系数,以获取最合适的功率阈值区间为目的,可以根据实际采集的功率情况进行人为设定; $S_u(t)$ 为 $t$ 时刻的上功率偏差,由 $t$ 时刻时所有大于 $\bar{P}(t)$ 的功率数据取偏差得到; $S_d(t)$ 为 $t$ 时刻的下功率偏差,由 $t$ 时刻时所有小于 $\bar{P}(t)$ 的功率数据取偏差得到。

刀具寿命功率阈值 $P_h$ 和 $P_l$ 可以表示为:

$$\begin{cases} P_h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{u_i}(t) \\ P_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{d_i}(t) \end{cases} \quad (2) \quad (3)$$

式中, $P_h$ 和 $P_l$ 分别为某个工步中刀具的磨损功率阈值和初始功率阈值; $n$ 为该工步中上下功率阈值个数; $P_{u_i}(t)$ 和 $P_{d_i}(t)$ 分别为 $t$ 时刻的功率上阈值和下阈值。

## 基于功率信息的刀具监测系统开发

### 1 刀具监测系统框架

依据机床主轴功率消耗值随着刀具的磨损而变大的原理,融合离线学习模块,得到了刀具监测功率阈值区间。该功率阈值区间分别包括刀具加工状态功率阈值区间、刀具寿命功率阈值区间。通过将加工过程中采集到的功率信号值与功率阈值区

间的上下极限阈值实时进行比较,实现了对刀具加工状态的实时监测以及对刀具剩余寿命的预估。基于功率信息的刀具监测系统框架如图2所示。

## 2 刀具监测软硬件系统

基于以上系统框架,开发了基于功率信息的刀具监测软硬件系统。

硬件系统中,通过传感器和功率采集模块对机床的主轴功率实时采

集,并实时发送到工控机或计算机上,图3为硬件系统实物图。

软件系统基于NI LabVIEW 2017开发,其中包含5个模块,分别为数据采集、数据分析、离线学习、在线监测、监测数据统计。图4为软件系统界面,数据采集模块可以配置串口及控制采集开始和停止,也可以实时显示采集到的功率波形图;数据分析模块可以对采集到的多组数据

进行导入对比查看,并对数据进行裁剪保存;离线学习模块可以对多组数据进行导入并学习,生成刀具加工状态功率阈值区间和刀具寿命功率阈值区间;在线监测模块可以实现对刀具加工状态的实时在线监测和对刀具寿命的预测;监测数据统计模块可以对监测过的刀具加工状态及寿命信息进行统计,方便使用者对某个时期的加工情况进行了解和

分析。此外,刀具状态监测软件中,设计了免疫时间机制,该免疫时间可以人为设置,只有当连续监测到免疫时长的状态异常,软件才会报警,避免了由于换刀造成的功率波动带来的误报警。

该基于功率信息的刀具监测软硬件系统可以应用于铣削、钻削、车削等主轴功率容易采集到的加工过程。

## 叶片铣刀监测试验及分析

### 1 功率数据采集

试验以航空发动机压气机小型叶片(叶片材料为镍基高温合金GH4169)的铣削加工过程为研究对象,采用瑞士威力铭518TBD五轴加工中心机床进行铣削加工,利用功率采集模块实时采集叶片加工过程中的主轴功率数据。试验中采用的功率采集模块为三相电参数传感器,型号为HGE99H81,采样频率20Hz,配有6个电流互感器及1个三角形转星形变换器。

将功率采集模块接入主轴电路中,可以实现对主轴功率的实时采集。图5所示为叶片加工过程的主轴功率波形。所用4把刀具的加工过程与图中的功率波段相对应。

根据叶片加工车间工人长期积累的经验,一把精铣刀和铣根刀在加工约6个叶片后就会达到磨钝标准,此两把刀更换频繁且对叶片加工精度影响较大。因此,此次试验以此两

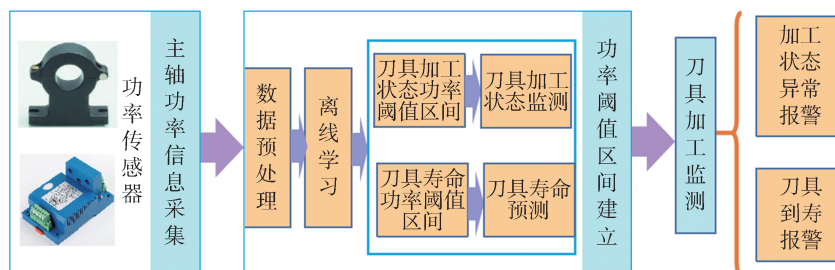


图2 基于功率信息的刀具监测系统框架

Fig.2 Framework of tool monitoring system based on power information

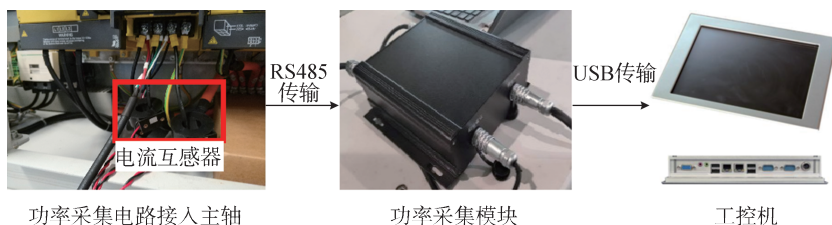


图3 基于功率信息的刀具监测硬件系统

Fig.3 Tool monitoring hardware system based on power information



图4 基于功率信息的刀具监测软件系统

Fig.4 Tool monitoring software system based on power information

把刀具的加工过程为主要研究对象,进行对刀具加工状态的监测和对刀具寿命的预测。

## 2 计算功率阈值区间

### 2.1 刀具加工状态功率阈值区间

该加工过程中,各个加工参数由提前编好的数控程序设定,且长期保持固定不变,各个毛坯件的余量差异小。因此,主轴转速、进给速度、切削深度等加工参数的变化相比于刀具磨损而言,对主轴功率的影响很小,满足常阈值监控法的监控条件。

试验中,在一把精铣刀和铣根刀达到磨钝标准前,共加工了7个叶片,采集到7条功率波形,将其进行离线学习后得到功率阈值区间。图6为精铣刀的刀具加工状态的功率阈值区间,图7为铣根刀的刀具加工状态的功率阈值区间。

### 2.2 刀具寿命功率阈值区间

试验中,通过对精铣刀及铣根刀加工的第1个零件和磨钝前最后一个零件的功率波形进行导入和截取,得到刀具的开始加工时刻和结束加工时刻,并计算出该时间区间内的初始平均功率和极限平均功率,得到刀具寿命功率阈值区间。表1为精铣刀和铣根刀的刀具寿命功率阈值区间。

## 3 刀具监测试验结果与分析

### 3.1 刀具加工状态监测结果

以刀具加工状态功率阈值区间为标准,对120个叶片的加工过程进行了监测,图8为精铣刀的刀具加工状态监测结果,图9为铣根刀的刀具加工状态监测结果。由结果可知,当刀具磨钝时,被测功率值明显变大,很多功率点都超过了上阈值区间,软件此时触发了加工异常报警。

### 3.2 刀具寿命预测结果

以刀具寿命功率阈值区间为预测标准,对20把精铣刀和铣根刀的刀具寿命进行预测,每加工完一个叶片预测一次,共得到137组数据。其中,为了测试该系统的预测准确性,

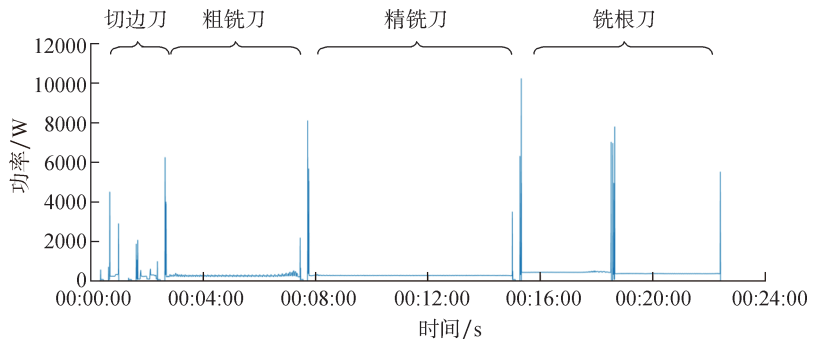


图5 叶片加工功率数据波形

Fig.5 Power data waveform of blade machining

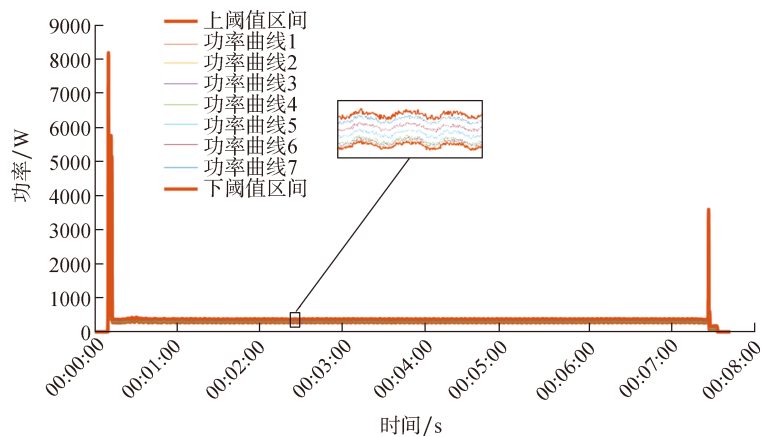


图6 精铣刀的刀具加工状态的功率阈值区间

Fig.6 Power threshold range for machining condition of finish milling cutter

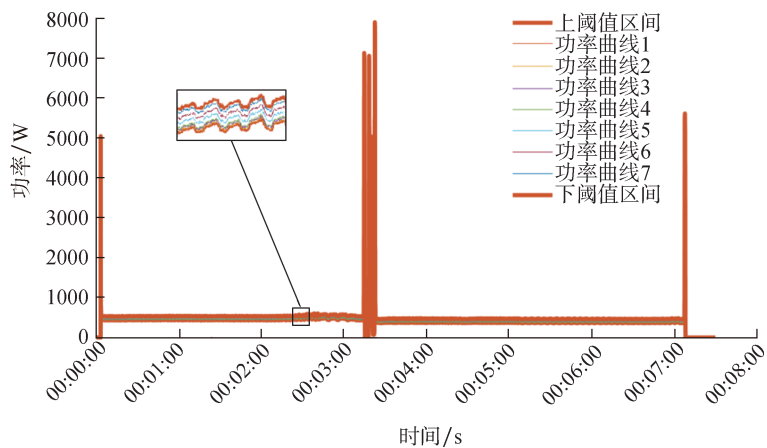


图7 铣根刀的刀具加工状态的功率阈值区间

Fig.7 Power threshold range for machining condition of root milling cutter

表1 刀具寿命功率阈值区间

Table 1 Tool life threshold range based on power

刀具名称	开始监测时刻/s	结束监测时刻/s	初始功率阈值/W	磨钝功率阈值/W
精铣刀	416.1	840.8	264.60	304.36
铣根刀	886.6	1304.8	424.93	473.16

故意让刀具在已经磨损的情况下继续加工一个叶片,共制造了6次刀具到寿情况。刀具寿命预测结果如表2所示。

### 3.3 试验结果分析

#### 刀具加工状态监测的准确性统

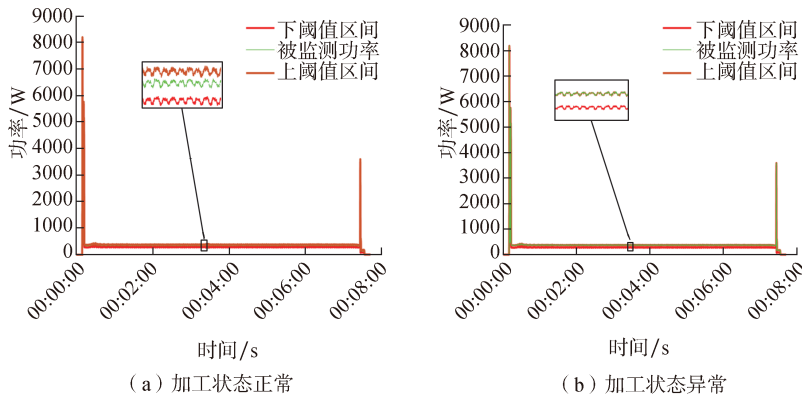


图8 精铣刀加工状态监测结果

Fig.8 Monitoring results of machining condition of finish milling cutter

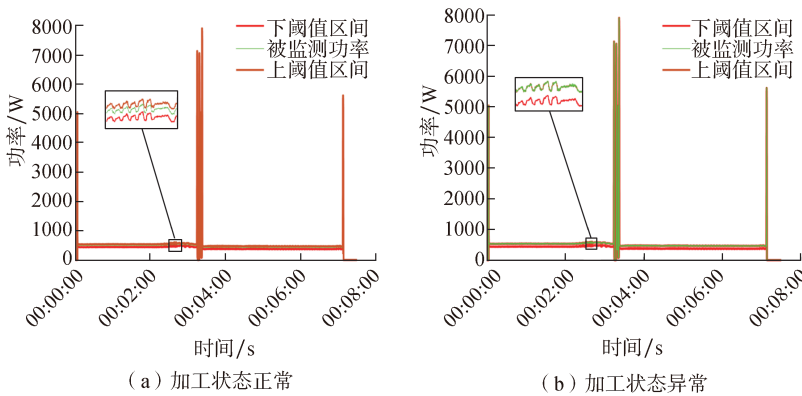


图9 铣根刀加工状态监测结果

Fig.9 Monitoring results of machining condition of root milling cutter

计结果如表3所示。可以看出,该系统的监测准确度在90%以上,具有较好的监测准确性。对刀具磨钝导致的异常,其监测准确率较高,在叶片的实际加工过程中具有一定的参考价值,能为机床操作者节省部分精

力,可以及时发现加工异常,降低废品率。

对于刀具寿命预测情况,通过分析表2中的刀具即将磨钝内容可知,在部分情况下,精铣刀和铣根刀在加工7个零件后到寿,而在实际加工过程中,机床操作者凭借自己的加工经验,在加工6个零件后就会换刀,相比而言,刀具状态监测系统对刀具寿命预测更精确,可以提高刀具的利用率,降低对刀具寿命的浪费,节省叶片加工成本。此外,刀具寿命预测结果的准确性情况如表4所示。可以看出,刀具寿命预测准确率可以达到90%以上,具有较好的预测准确性,在实际加工过程中,该预测结果具有较高的参考价值。

## 结论

本文以航空发动机压气机叶片的铣削加工过程为研究对象,针对加工过程中刀具加工状态不易实时监测、更换刀具时依赖经验等问题,利用基于功率信息的常阈值监控法,开发了刀具监测系统。

(1)该监测系统通过对主轴电机的功率信号进行采集、分析和离线学习,得到了功率阈值区间,将加工过程中实时产生的主轴功率数据与区间数据进行对比,实现了对刀具加工状态的实时监测和对刀具寿命的预测。

表2 刀具寿命预测结果

Table 2 Tool life prediction results

刀具加工状态	刀具名称	开始监测时刻/s	结束监测时刻/s	初始功率阈值/W	磨钝功率阈值/W	当前功率值/W	已加工零件个数	刀具已使用情况/%
刀具寿命正常	精铣刀	416.1	840.8	264.60	304.36	271.61	2	17.63
	铣根刀	886.6	1304.8	424.93	473.16	436.42	2	23.82
刀具即将磨钝	精铣刀	416.1	840.8	264.60	304.36	296.73	7	80.81
	铣根刀	886.6	1304.8	424.93	473.16	471.04	7	95.60
刀具已磨钝	精铣刀	416.1	840.8	264.60	304.36	309.72	8	113.48
	铣根刀	886.6	1304.8	424.93	473.16	486.61	8	127.89

表3 刀具加工状态准确性统计

Table 3 Accuracy statistics of tool machining condition

刀具类型	刀具监测状态	正确次数	误判次数	准确率/%
精铣刀	正常	101	11	90.18
	异常	8	0	100.00
铣根刀	正常	98	10	90.74
	异常	11	1	90.91

表4 刀具寿命预测准确性统计

Table 4 Accuracy statistics of tool life prediction

刀具类型	刀具寿命状态	正确次数	误判次数	准确率/%
精铣刀	刀具正常	105	6	94.59
	即将磨钝	18	2	90.00
	已磨钝	6	0	100.00
铣根刀	刀具正常	107	4	96.40
	即将磨钝	19	1	95.00
	已磨钝	6	0	100.00

(2) 试验表明,对于加工参数固定的叶片铣削加工过程,该刀具监测系统可以对刀具加工状态是否异常做出准确判断,对刀具寿命的预测准确度较高,在航空发动机压气机叶片加工领域有着良好的应用前景。

参考文献

[1] 丛靖梅,莫蓉,吴宝海,等.面向性能的压气机叶片铣削加工误差分析及统计[J].航空制造技术,2017,60(15):36-44.  
 CONG Jingmei, MO Rong, WU Baohai, et al. Performance oriented machining error analysis and statistic of compressor blade[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(15): 36-44.  
 [2] CHEN Y X, JIN Y, JIRI G. Predicting tool wear with multi-sensor data using deep belief networks[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 99(5-8): 1917-1926.  
 [3] HUANG Z W, ZHU J M, LEI J T, et al. Tool wear predicting based on multi-domain feature fusion by deep convolutional neural network in milling operations[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2020, 31(4): 953-966.  
 [4] SHEN B, GUI Y F, CHEN B, et al. Application of spindle power signals in

tool condition monitoring based on HHT algorithm[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 106(3-4): 1385-1395.  
 [5] 付洋.切削加工过程中振动状态及刀具磨损的智能监测技术研究[D].武汉:华中科技大学,2017.  
 FU Yang. Research on intelligent monitoring method for vibration states and tool wear in machining[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.  
 [6] 王海丽,翁德玮,胡兆燕,等.基于模糊神经网络的刀具磨损识别[J].上海交通大学学报,2002,36(8):1086-1090.  
 WANG Haili, WENG Dewei, HU Zhaoyan, et al. Tool wear monitoring using fuzzy neural network[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2002, 36(8): 1086-1090.  
 [7] 李聪波,万腾,陈行政,等.基于切削功率的数控车削批量加工刀具磨损在线监测[J].计算机集成制造系统,2018,24(8):1910-1919.  
 LI Congbo, WAN Teng, CHEN Xingzheng, et al. On-line monitoring method of tool wear for NC turning in batch machining based on cutting power[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(8): 1910-1919.  
 [8] 柳洋,陈永洁,杨文恺,等.刀具磨损在线监测研究现状与发展[J].机床与液压,

2014, 42(19): 174-180.  
 LIU Yang, CHEN Yongjie, YANG Wenkai, et al. Recent development and study of online monitoring of tool wear[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2014, 42(19): 174-180.  
 [9] 万文波,李江雄,毕运波.基于功率信号的钻铤刀具监测及其系统开发[J].计算机集成制造系统,2019,25(9):2140-2148.  
 WAN Wenbo, LI Jiangxiong, BI Yunbo, Drilling and dimpling tool monitoring based on power signal and its system development[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(9): 2140-2148.  
 [10] 谢楠,段明雷,高英强,等.基于功率传感器的刀具磨损量预测方法[J].同济大学学报(自然科学版),2017,45(3):420-426.  
 XIE Nan, DUAN Minglei, GAO Yingqiang, et al. Tool wear prediction approach based on power sensor[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2017,45(3): 420-426.  
 [11] CUPPINI D, ERRICO G, RUTELLI G. Tool wear monitoring based on cutting power measurement[J]. Elsevier, 1990, 139(2): 303-311.  
 [12] 邵华,翟澄然,翁世修,等.基于磨钝标准和切削参数的刀具状态切削功率阈值更新监控[J].组合机床与自动化加工技术,1998(1):22-24,41.  
 SHAO Hua, QU Chengran, WENG Shixiu, et al. Tool condition threshold updating monitoring strategy with cutting power based on tool wear criterion and cutting parameters[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 1998(1): 22-24, 41.  
 [13] WANG X T, WILLIAMS R E, SEALY M P, et al. Stochastic modeling and analysis of spindle power during hard milling with a focus on tool wear[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2018, 140(11): 111011.  
 [14] TENG W, CHEN X Z, LI C, et al. An on-line tool wear monitoring method based on cutting power[C]. International Conference on Automation Science and Engineering, Munich, 2018.  
 [15] ZHOU B, ZHANG J F, FU Y K, et al. Research on power and vibration signal acquisition method and system of machine tool for tool wear monitoring[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1939(1): 012114.  
 通讯作者:刘阔,副教授,博士,研究方向为智能数控加工技术与装备。

(下转第110页)

## Synthesis and Thermal/Mechanical Properties Investigations of $\text{ANb}_2\text{O}_6$ (A=Ca, Mg, Co, Ni) Ceramics

LI Baihui<sup>1</sup>, LUO Keren<sup>1</sup>, ZHANG Heying<sup>1</sup>, CHEN Lin<sup>1</sup>, ZHANG Zhibin<sup>2</sup>, CHONG Xiaoyu<sup>1</sup>,  
LIANG Xiubing<sup>2</sup>, FENG Jing<sup>1</sup>

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. National Defense Science and Technology Innovation Research Institute, PLA Academy of Military Sciences, Beijing 100071, China)

**[ABSTRACT]** Thermal barrier coatings (TBCs) have good thermal insulation to protect the high-temperature components of aircraft engine, gas turbine and supersonic aircraft, et al. TBCs are applied to prolong the lifetime and increase the operation temperature of high-temperature components. Low thermal conductivity, high thermal expansion coefficients, comparatively low Young's modulus and high hardness are required by TBCs. In this work,  $\text{ANb}_2\text{O}_6$  (A=Ca, Mg, Co, Ni) ceramics are synthesized by a solid-state reaction, and their crystal structures, hardness, Young's modulus, thermal conductivity and thermal expansion coefficients (TECs) are systematically studied. The maximum value of hardness reaches 7.8GPa, and their Young's modulus are relatively low (100–180GPa). The lowest thermal conductivity reaches 1.59W/(m·K) (1200°C), and the highest TECs is  $9.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (1200°C). The excellent thermal/mechanical properties pronounce that  $\text{ANb}_2\text{O}_6$  ceramics are potential TBCs smaterials.

**Keywords:** Thermal barrier coatings(TBCs); Niobates; Ceramics; Mechanical properties; Thermal conductivity; Thermal expansion coefficients(TECs)

(责编 古京)

(上接第92页)

## Research on Monitoring Test of Milling Tool for Aero-Engine Blade Based on Power Information

QIAO Shi<sup>1</sup>, LIU Kuo<sup>1</sup>, DU Shubo<sup>2</sup>, WANG Pengfei<sup>1</sup>, WANG Yongqing<sup>1</sup>

(1. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. AECC Guizhou Liyang Aviation Power Co., Ltd., Guiyang 550000, China)

**[ABSTRACT]** In view of the problems in the milling process of aero-engine blade, such as tool status is not easy to be observed and tool change depends on experience, a tool condition monitoring system is developed by using the tool status monitoring method based on power information. In the process of machining, the power signal of machine tool spindle is collected by three-phase power sensor in real time, and the signal data is filtered, analyzed and learned off-line, and the power threshold interval is calculated. The power threshold interval is used as the monitoring standard to realize the monitoring of tool machining process and the prediction of tool life. The milling process of aero-engine compressor blade is taken as the research object, and the tool condition monitoring test is carried out. The results show that through the tool condition monitoring method based on power information, the real-time monitoring of the machining condition for aero-engine blade milling tool and the prediction of the remaining life of the tool can be realized.

**Keywords:** Aero-engine blade; Spindle power; Off-line learning; Tool condition monitoring; Tool life prediction

(责编 古京)