

# 运用刀具在线监控技术优化汽轮机轮槽刀具寿命

许刚<sup>1</sup>,刘光耀<sup>2</sup>,田良<sup>1</sup>,何荣跃<sup>1</sup>,谢鸿<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成都工具研究所有限公司;<sup>2</sup>东方电气集团东方汽轮机有限公司

**摘要:** 通过刀具在线监控技术监控分析汽轮机轮槽铣刀在切削加工镍基高温合金中的状态,研究刀具在切削加工中的磨损规律,得出优化刀具寿命的可行性方法,以提高刀具的切削寿命。试验结果表明,通过调整刀具的切削参数可提高刀具的切削寿命。

**关键词:** 刀具在线监控技术;轮槽刀具;刀具寿命;切削参数

**中图分类号:** TG113.26+4;TG71

**文献标志码:** A

## Using Online Monitoring Technology to Optimize the Tool's Life of Slotting Cutter

Xu Gang, Liu Guangyao, Tian liang, He Rongyue, Xie hong

**Abstract:** By using the online monitoring technology, the state of turbine rotor grooved milling cutter in cutting nickel base superalloy is analyzed. The wear rule of cutting tool in cutting process and a feasible method which can optimize cutting life and improve tools life are found. The test results show that the cutting life of the cutting tools can be optimized by adjusting the cutting parameters of the tool.

**Keywords:** tool condition monitoring; slotting cutter; tools life; cutting parameters

## 1 引言

使用汽轮机转子轮槽铣刀铣出轮槽型线,消耗量大而昂贵<sup>[1,2]</sup>。现场加工中,一方面刀具过度使用导致刀具可修磨次数减少,刀具消耗量增多;另一方面操作人员为防止后续精加工余量过多和影响加工质量<sup>[3]</sup>,常提前换刀。有必要运用刀具在线监控技术<sup>[4]</sup>优化刀具切削参数,以充分利用刀具寿命<sup>[5,6]</sup>,减少刀具消耗。

为验证刀具在线监控技术对优化切削刀具寿命的可行性,本文通过采集轮槽半精铣刀、精铣刀在切削加工镍基高温合金过程中的声发射和功率信号,提取与刀具磨损相关的特征值,再通过调整刀具切削加工参数匹配合理的特征值,从而提高刀具的切削寿命。

## 2 刀具在线监控技术

在铣削加工过程中,刀具磨损监测法分为直接监测法和间接监测法<sup>[3]</sup>。直接监测法可直接测量与刀具材料体积损失有关的参量,准确性高,其缺点在于不能实现在线监测,因此实际应用较少;间接监测法通过测量与刀具状态相关的信号,间接推断刀具的退化状态。现场监测不需改造机床和破坏刀具

及刀柄,只需要从机床电气柜引出相应的电流线和电压线获取功率信号,声发射信号的获取只需将传感器安置在转子表面,因此本文选定间接监测方法中的功率和声发射监测方法在线监测刀具退化状态。在线监控系统见图1。

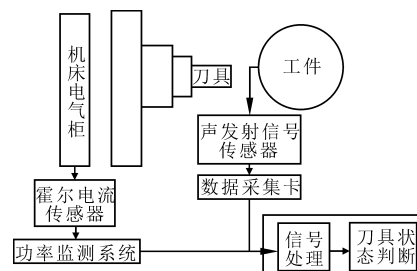


图1 刀具在线监控系统

### 2.1 声发射监控系统

声发射监控系统主要由传感器、前置放大器和PC(集成采集卡)三部分构成,图2为系统结构框图。



图2 声发射监控系统结构

将PCI-2两通道传感器分别安装在夹具和工件上,如图3中1、2所示。由于传感器2安装在工件上,加工过程中振动较大,在实验分析时主要采用传感器1作为监控信号,传感器2作为匹配信号。

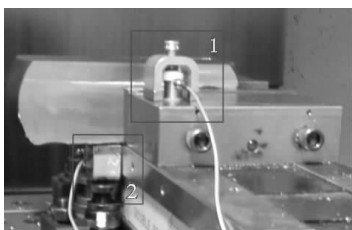


图3 传感器安装

## 2.2 功率监控系统

功率监控系统将霍尔电流互感器从机床电气柜引出对应的电流线和电压线,随后采用智能电表采集电流和电压信号。智能电表通过 RS 485 总线和 ARM 单片机进行数据通讯,ARM 单片机计算功率值并进行储存,图 4 为系统框图。



图4 功率监测系统框图

功率监测系统通过电流互感器安装在机床电器柜内,用于监测记录铣刀主轴功率。本系统通过电流互感器接入,不影响机床原有电路,接入方式采用 3 相 3 线制。

## 2.3 刀具磨损测量系统

采用 XDC-10A-E630 显微镜测量系统,该显微镜成像部分由物镜、摄像目镜以及 CMOS 图像传感器组成,放大倍数为 25-160 倍。测量时,在保证能测量出破损和磨损的情况下,通常选用最大放大倍数测量,以保证测量结果精确。

## 3 试验及数据分析

### 3.1 试验设计

在东方汽轮机有限公司工艺部实验室进行试验。试验刀具为新制轮槽半精铣刀和精铣刀各 5 件,试验机床为 VMC1300 立式加工中心,试验试坯为镍基高温合金(材料型号 GH4169,硬度 390-420HB)。

在规定的切削条件下切削镍基高温合金,应用刀具在线监控系统采集刀具在切削过程中的功率和声发射信号,实时监控刀具切削状态,进行有效分析。切削参数见表 1。

刀具失效判定原则:半精刀后刀面磨损量 0.3mm;精刀后刀面磨损量 0.1mm。

### 3.2 数据采集与分析

对切削试验过程中采集到的声发射信号特征值进行有效分析,建立特征图谱,形成刀具寿命优化方案。

表 1 切削参数

刀具	型号	转速 (r/min)	切削深度 (mm)	进给量(mm/z)		
				1	2	3
半精刀	2226-543	450	31	0.02	0.03	0.04
精刀	2226-544	500	32			

### (1) 声发射信号采集与分析

声发射 RMS 信号对加工过程反映具有灵敏且易观察的特点,通常在现场监控中选择界面显示 RMS 特征。刀具连续加工过程中采集到的声发射信号如图 5 所示。

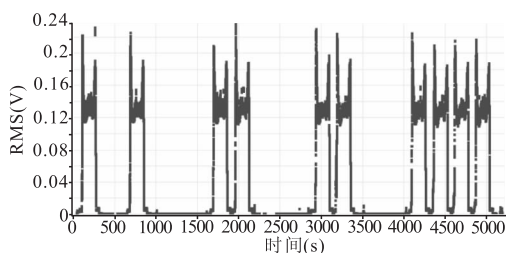


图5 声发射 RMS 信号

加工过程中每条槽的 RMS 信号如图 6 所示。可以看出,其加工过程共分为三部分,图中 1、2、3 号矩形框分别对应刀具切入工件、正常铣削和切出工件三个阶段。刀具开始切入工件时,RMS 信号从 0 开始急剧上升,至 0.24V 后下降至 0.13V,并保持稳定,此时刀具开始正常铣削工件;当刀具切出时,信号先上升至 0.18V 后急剧降低至 0。可以看出,刀具切入和切出时 RMS 信号波动较大,且切入时信号约为中间加工阶段的 2 倍。

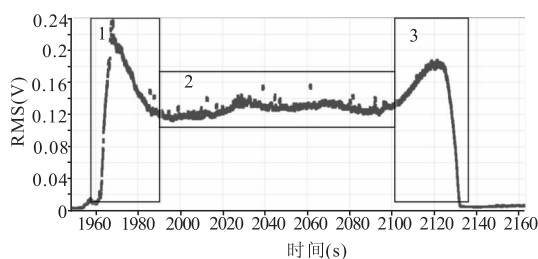


图6 加工过程中槽的声发射信号

### (2) 功率信号采集分析

功率系统所采集的功率信号能够对应所使用的机床、刀具和加工的槽号等。从功率系统实时采集的数据可知机床是否处于加工状态以及机床的运行时间,通过这些数据可以实现对机床运行状态的实时了解,并统计出机床的利用率。

采集的部分功率信号如图 7 所示。选取其中某一把半精刀加工 1-17 刀时的功率信号,对信号进行滤波并取加工每刀时中间平稳阶段的信号求取平均值,得到功率均值随加工刀数变化趋势如图 8 所示。

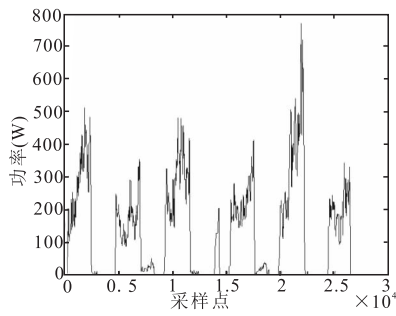


图7 功率信号

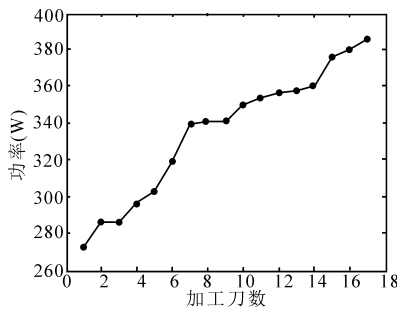


图8 功率均值随加工刀数变化

(3) 刀具磨损量采集分析

选取每齿进给量为 0.03mm 时半精刀和精刀的重复试验数据,分别如图 9 和图 10 所示。刀具的磨损规律类似,随着加工长度的增加,刀具磨损量逐渐增大,且磨损均匀。

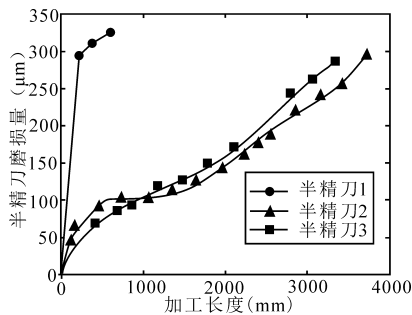


图9 半精刀重复试验

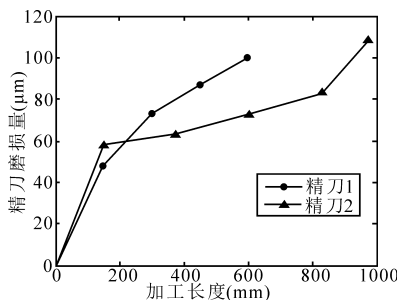


图10 精刀重复试验

3.3 切削参数优化

通过对采集信号的分析,在保持其他切削参数不变的情况下,本文仅改变刀具切入、切出的进给

量。设定切入时的刀具进给量为 0.01mm/z,切出时进给量为 0.02mm/z,刀具加工过程中的 RMS 信号如图 11 所示。可以看出,切入、切出以及正常加工时的信号基本相同且保持稳定,此时既可以避免刀具切入时的破损,又可提高切削效率。

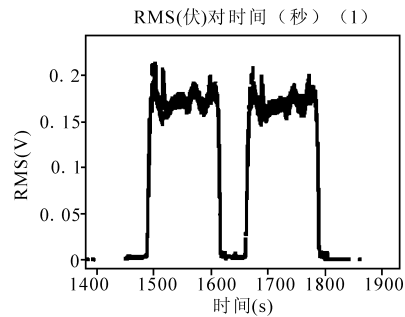


图11 不同程度地降低切入、切出进给量

4 结语

本文通过应用刀具在线监控技术采集汽轮机轮槽半精刀和精刀在切削加工镍基高温合金材料过程中的声发射信号、功率信号以及刀具磨损量,有效地监控了刀具的切削加工状态。

根据采集数据与特征值的分析建立图谱,分析影响刀具磨损的加工因素,并采取部分调整措施。经试验验证了切削参数优化后的切削效果,证明通过调整切削参数,可达到优化刀具寿命的目的。

参考文献

- [1]汪津泽,汪超林. 汽轮机转子轮槽分屑粗铣刀的研制[J]. 工具技术,2003,37(10):42-43.
- [2]孟漪. 高效精密枞树型轮槽铣刀设计制备准则及其试验研究[D]. 上海:上海交通大学,2011.
- [3]郑堤,孙令贻. 基于加工尺寸检测数据的刀具磨损及寿命研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2002(8):32-35.
- [4]闫杉,胡小锋,刘颖超,等. 轮槽半精铣刀寿命自适应预测方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2016(9):95-98.
- [5]敖晓春. 难加工材料 3Cr-1Mo-1/4V 钢的切削及刀具破损机理的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2005.
- [6]程剑兵,庞思勤,王西彬,等. 硬质合金刀具车削 GH2132 高温合金磨损及破损试验[J]. 北京理工大学学报,2013,33(9):911-915.

第一作者:许刚,高级工程师,成都工具研究所有限公司,610500 成都市

First Author: Xu Gang, Senior Engineer, Chengdu Tool Research Institute Co., Ltd, Chengdu 610500, China