

基于温度信号的高速干铣削试验研究*

The Experimental Study on High-Speed Dry Cutting Based on the Temperature Signals

南昌航空大学 肖毅 王希

[摘要] 本文应用红外测温系统对高速铣削过程中切削温度的动态变化进行在线监测,给出了铝合金高速铣削过程中不同磨损程度和不同材料的刀具加工时对应的切削温度以及切削温度随切削速度的变化规律,其结论有助于指导铝合金高速铣削加工、优化高速切削工艺。

关键词: 高速铣削 切削温度 在线监测

[ABSTRACT] With the infrared temperature measurement system on-line monitoring the dynamic change of the cutting temperature in the milling process of high-speed being monitored, the corresponding cutting temperature while machining with tools of the different wear degree and materials are presented, meanwhile, the varying characteristic of the cutting temperature with the cutting velocity, which are essential to the development of high-speed cutting aluminum and to the optimization of high-speed cutting process is put forward.

Keywords: High-speed cutting Cutting temperature Online monitoring

随着高速切削加工机床和刀具的快速发展,高速切削加工以其加工效率高、切削力小、工件的热变形和热膨胀小、加工表面质量好、经济效益高等优点在各行各业得到了广泛的应用。但是,目前高速机床铣削过程中配备了强大的冷却润滑系统,使得在加工过程中切削液的成本占总加工成本的比例大大增加,并且切削液直接排放一般都会造成环境污染。与高速干切相比,干切削在加工过程中不用(或微量使用)切削液,是一种对环境污染源头进行控制的绿色制造技术,而且能大幅度降低产品的生产成本。但由于采用

很高的主轴转速、进给速度以及不使用切削液,使得加工过程变得更加复杂和充满变数,刀具的磨损、崩刃、温度过高等危险性显著增加^[1]。

高速干铣削过程中,因刀具与工件直接相互作用而导致加工区域温度急剧升高,会出现刀具及工件的热形变,甚至产生局部相变,严重影响刀具寿命和加工质量。随着对精密加工要求的提高及自动化程控加工的推广普及,目前国内外对切削温度也做了大量研究^[2,3]。德国学者 Carl Salomon 博士早在 1931 年就得出有关切削温度的一个结论:金属切削温度随着切削速度的提高,都有一个临界切削速度值,当切削速度超过该临界速度时,切削温度随着切削速度的增加反而下降。在 2005 年 J.M. Longbottom, J.D. Lanham^[4] 的试验研究中进一步完善了该结论,他们指出:该结论仅适应于工件表面温度随速度变化的情况,但不适应于刀具表面温度变化情况。本文试图寻求铝合金干铣削时不同材料的刀具以及不同磨损程度的同一材料刀具对应主轴速度随温度的变化规律,其试验结果对于发展高速干铣削过程中刀具磨损监测技术无疑是至关重要的。

1 试验

1.1 试验原理

本试验采用红外测温仪来测量切削温度,其原理基于斯蒂芬-波尔兹曼定律:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \left(\frac{W}{m} \right),$$

式中, ε 为物体辐射单元表面辐射率(取决于物体表面性质); σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数,

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4};$$

T 为辐射单元表面温度(K); E 为辐射单元单位面积上辐射能量(W)。

任何物体都有红外辐射,辐射强度随着温度的变化而变化,红外测温使用的热辐射中的波长范围为

* 国家自然科学基金项目(50875120),航空科学基金(2007ZE56008),江西省教育厅科技项目(赣教技字[2007]第171号),南昌航空大学博士启动基金项目(EA200603173)。

1 μ m~20 μ m。物体的辐射强度取决于物体的材料,用发射率来描述各种材料发射红外辐射的特性。本次试验选择的发射率为 0.4(符合铝合金材料)。红外测温仪通过探测器接受并测量物体辐射单位的辐射能量,并通过电子线路将红外辐射的能量转变成电信号。通过对该信号的采集,可以在主控计算机上实时显示切削区域的温度变化图形。

与传统的热电偶测温方法相比,红外测温仪的最大优势是非接触、可测瞬时温度(热电偶只能测平均值)、安装方便、测温快速和寿命长。因此,它可以方便地测量难以接近或移动的目标温度。

1.2 试验设计

试验在高速数控加工中心上进行,把红外温度测温仪安装在加工主轴的侧边并尽可能对准铣削区域(见图 1),将测量到的刀尖温度信号通过预先编制好的虚拟仪器采集软件控制数据采集卡,进行采集后输送到电脑中进行信号处理与保存,系统结构如图 2 所示。试验将研究不同磨损程度的同一材料刀具以及不同材料的新刀在高速切削时的温度特性。为此在试验

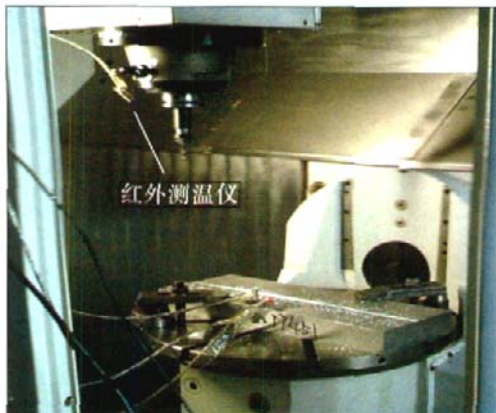


图 1 红外测温仪安装图

Fig.1 Installation diagram of infrared thermometer

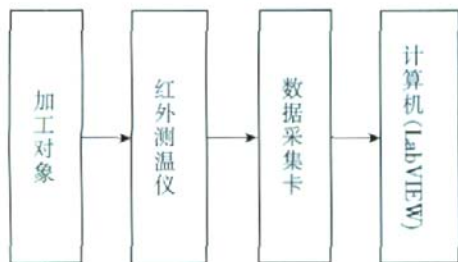


图 2 温度信号数据采集系统结构图

Fig.2 Structure diagram of temperature signal data acquisition system

前准备了 4 把刀具,并将其中同一种材料的 2 把新刀进行了人为钝化,这样刀具就分成了新刀、微磨损刀和严重磨损刀 3 类,分别对 2 类刀具进行温度数据采集。

1.3 试验装置及加工参数设置

(1)试验机床:瑞士 MIKRON UCP600VARIO 型五坐标高速立式加工中心。该机床主轴转速:20~20 000r/min;工作行程:X 轴:600mm,Y 轴:450mm,Z 轴:450mm。

(2)切削刀具:磨损程度不同的三把三齿直立铣高速钢 HSS (ϕ 10mm) 和金刚石涂层三齿直立铣刀 (ϕ 20mm),均采用端面直线顺铣加工方式。2 种刀具均采用同样的切削用量:背吃刀量为 1.5mm,每齿进给量为 0.03mm。

(3)切削工件:选用航空铝(7050-T7451)材料,规格为 58cm \times 16cm \times 6cm 的长方体。

(4)试验中采用德国欧普士公司生产的红外测温仪,型号为:optris CT。采集卡选用研华公司的产品,型号为:PCI-1710。信号采集系统的编制使用的是虚拟仪器语言(LabVIEW),其采集界面如图 3。

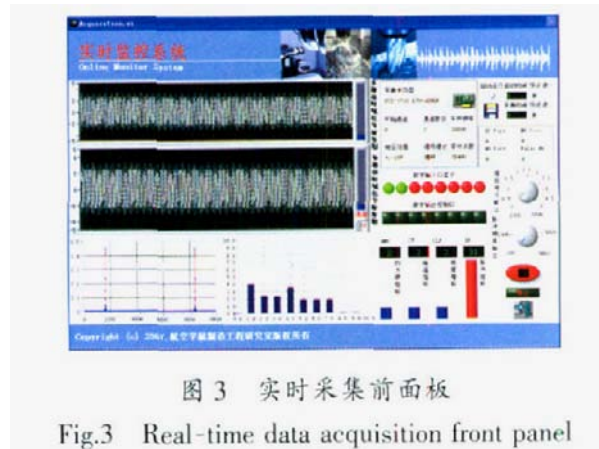


图 3 实时采集前面板

Fig.3 Real-time data acquisition front panel

(5)采用干切削方式,不使用任何切削液。三齿直立铣高速钢 HSS (ϕ 10mm)对应的主轴转速分别选用 $n=1000,3000,5000$ r/min 共 3 档;金刚石涂层三齿直立铣刀 (ϕ 20mm)对应的主轴转速分别选用 $n=3\ 000,6\ 000,9\ 000,12\ 000,15\ 000,18\ 000,20\ 000$ r/min 共 7 档,对不同转速下测得的温度值进行比较。

2 试验结果及分析

按照上述试验步骤,用红外测温仪进行温度测试,得出不同刀具加工时刀尖温度随切削速度的变化曲线特性,分别如图 4、5 所示。图中不同主轴转速对

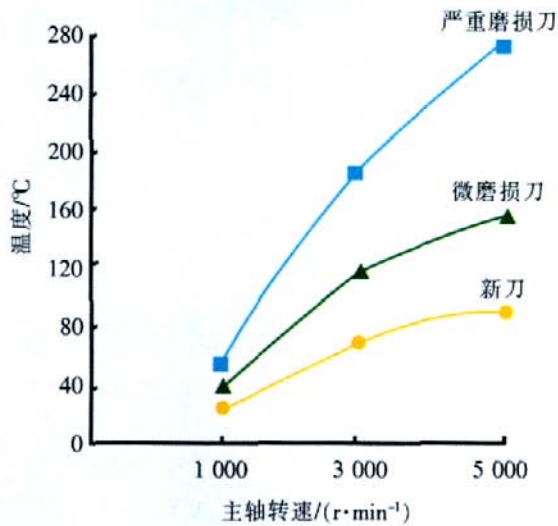


图4 不同磨损程度的三齿直立铣高速钢HSS刀尖温度随切削速度变化关系曲线

Fig.4 Relation curves of different wear degrees tridentate vertical HSS tip temperature with cutting speed

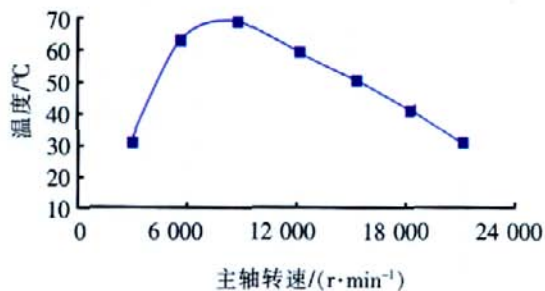


图5 金刚石涂层三齿直立铣刀刀尖温度随切削速度变化关系曲线

Fig.5 Relation curve of diamond coating tridentate vertical cutter tip temperature with cutting speed

应的温度值均为整个加工过程中刀尖温度的平均值。

从图4可以看出,主轴转速从1000r/min升高到5000r/min时,刀尖表面温度不断上升。同一主轴转速下,随着刀具的磨损程度加大,刀尖温度明显升高。其中微磨损刀刀尖温度相对于新刀刀尖温度增长80%左右,严重磨损刀的刀尖温度相对于新刀刀尖温度增长260%。从图5可以看出,主轴转速从3000r/min升高到20000r/min时,切削刀具刀尖温度先逐渐上升,上升到一定值后随着转速的继续提升温度反而下降,临界温度对应的转速在9000r/min左右。

3 结论

通过对高速干切削加工进行红外测温的试验,获得以下几条重要结论。

(1)采用红外辐射测温的方法,对测量铣削铝合金的相对动态切削温度富有成效。非接触测量实现了遥测技术,并且方便与计算机连接,容易实现数字化、智能化。保障了实际加工过程中的安全性,取得了显著的技术与经济效益。

(2)测温的结果对高速铣削铝合金零件的用量合理选择、减小零件变形、提高表面质量以及提高生产率等提供了重要的试验依据,并有利于高速铣削特征数据库的建立。

(3)用红外测温仪能够准确地测量高速干铣削加工过程中刀具刀尖的温度变化情况,加之在本次试验中用到的红外测温仪的温度响应时间仅为150ms,较好地解决了高速切削过程中切削温度检测的关键难题,为高速干切削的在线监测带来了可能。

参 考 文 献

- [1] 邹浩波,张宇.高速干切削加工技术,机械研究与应用,2005,18(5):4-5.
- [2] Li L. Temperature measurement in high speed milling Ti6Al4V, Key Eng. Mater, 2004: 804-808.
- [3] 赵新,朱承元,易克平,等.铝合金高速铣切屑温度实验研究.电子机械工程,2004,20(1):37-39.
- [4] Longbottom L M, Lanham J D. A review of research related to Salomon's hypothesis on cutting speeds and temperatures. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2006, 46: 1740-1747.

(责编 淡蓝)

(上接第92页)

参 考 文 献

- [1] 朱伏平.基于生产车间的工具管理系统.现代生产与管理技术.2005,112(2):29-31.
- [2] 徐在培.论物资消耗定额管理.一重技术,2006(6):119-120.
- [3] 罗志清,王润孝,蹇爱荣.模具产品制造成本与生产周期估计模型研究.计算机集成制造系统,2005,11(12):1659-1662.
- [4] 叶蓓华,邢刚.集成制造环境下车间层生产要素建模与算法.中国机械工程,2001,12(12):1380-1383.
- [5] 罗桥,张长海,刘大有.基于概率统计材料消耗定额自动学习算法.计算机应用,2006,26(B06):288-289.

(责编 蔚蓝)