

红外热成像方法对机加过程温度的监测

宗和厚, 张伟斌, 唐 兴

(中国工程物理研究院 化工材料研究所, 绵阳 621900)

摘 要: 红外热成像技术可以测量被测目标的温度场分布, 并以图像的形式表示出来。采用红外热成像方法对炸药代用药的机加切削过程的温度进行监测, 得到了不同切削速率、切削进深以及有无孔洞缺陷等因素对工件温升的影响规律。试验表明: 红外热成像技术可以非接触、实时监测炸药件加工过程的温度场分布并分析温度变化规律, 为弹药加工安全性提供了参考。

关键词: 红外技术; 温度; 机加; 监测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2014)11-0035-03

Application of Infrared Thermography to the Online Monitoring of Machining Process

ZONG He-hou, ZHANG Wei-bin, TANG Xing

(China Academic of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Infrared thermography is a non-destructive testing technology that can be applied to determine the superficial temperature of objects. In this article, the machining process of mock explosive part is online monitored and the influence rules of temperature rise are obtained including the cutting velocity, cutting depth and void defect. The results indicate that infrared thermography can be used to monitor the temperature distribution of explosive parts during machining process and the change rule of temperature can be analyzed for the reference of safety of ammunition machining.

Keywords: Infrared technology; Temperature; Machining; Monitoring

随着红外测量技术的迅速发展, 红外热成像仪作为一种先进的测温设备被越来越多的应用到各个领域^[1]。相对于热电偶等传统的测温技术, 红外测温具有非接触全程测量, 不破坏原有温度场; 反应快, 可实时测量; 精度高, 在一定条件下可分辨 0.01℃ 的温度差等优点, 这些优点使得其正逐渐被应用于对测温技术要求很高的传热科研实验中^[2-3]。已经有人采用红外测温技术对温度场的在线监测进行了探索^[4-5]。但采用红外热成像技术对有机材料机加过程中影响温度变化的因素的研究还未见报道。在弹药的精密加工过程中, 工件和刀具的温度变化往往会影响加工的精度, 因此有必要了解机加过程中的温度变化及受到的影响因素, 笔者以炸药代用料药柱为机加对象, 以高精度的

SC3000 型红外热像仪为检测工具, 探讨炸药机加过程温度变化规律及其影响因素。

1 红外热成像测试原理

红外热成像无损检测是根据热辐射理论发展起来的技术。热辐射理论是指: 任何物体, 只要其温度高于绝对零度, 都会从表面发出与温度有关的热辐射能。而根据斯蒂芬-玻尔兹曼定律, 物体的红外辐射能量值 E 与物体表面绝对温度的 4 次方和物体表面的辐射系数成正比:

$$E = \epsilon \delta T^4 \quad (1)$$

式中: E 为红外辐射能量; ϵ 为辐射系数; δ 为斯蒂芬-玻尔兹曼定律; T 为物体的绝对温度。

所以, 根据物体的红外辐射, 表面温度与材料特性三者之间的内在关系, 借助红外热像仪将来自目标的红外辐射转变为可见的热图像, 通过热图像特征和专用的 Research 软件, 可以直观地了解物体表面温度分布和分析其内部结构和表面状态等。

收稿日期: 2014-06-25

作者简介: 宗和厚(1975—), 女, 助理研究员, 主要研究方向为含能材料无损检测技术及理论研究。

2 试验设备和方法

试验样品:炸药代用料 DK46。试验设备:SC3000 型红外热像仪。其成像类型为制冷型长波量子阱红外光电探测器,波长范围 $8\sim 9\ \mu\text{m}$,FPA 像素为 320×240 。

试验方法:样品加工过程中,绕轴线以一定的速率旋转,圆柱面在旋转过程中保持相对静止,将红外热像仪放置在正对样品轴面约 50 cm 的距离,并仔细调节样品与镜头的距离和角度,使成像尽可能清晰;观察样品在不同切削速率、切削进深以及有孔洞缺陷等条件下红外辐射温度的变化情况。热像仪在测量前调准后,不再调节,以保持同一测量标准。发射率的确定采用对比法测定材料的辐射系数,即在样品上贴上辐射系数(0.95)已知的黑胶带,对样品均匀加热到高于环境温度 $20\ ^\circ\text{C}$ 以上并保持平衡,调节样品的辐射系数直至样品在该辐射系数下显示的温度与黑胶带在辐射系数为 0.95 时所显示的温度相同为止。

3 试验结果

对样品进行了切削进深为 2 mm 和 4 mm 下不同转速加工,分析不同转速,进深以及缺陷对工件温度的影响。图 1 是样品在进深为 2 mm,加工转速分别为 160,350,460,600,770,1 000 r/min 下拍摄的加工过程某一瞬间的红外热图像;图 2 是样品进深 2 mm,柱面轴线位置不同转速下的温度分布曲线;图 3 是加工深度分别为 2,4 mm 时,不同持速下的温度曲线;图 4 是样品进深 2 mm,工件柱面有一个孔洞和没有孔洞下,不同转速时的温度对比曲线。

从图 2~4 可以看出:加工进行时,与刀具接触部位温度升高均超过 $10\ ^\circ\text{C}$ 以上,转速越高温升越高;加工结束刀具移开后,药柱的温度迅速降低直至常温;在相同转速条件下,加工深度越深,温升越高;但转速越高,进深的影响越来越小,在 350 r/min 时最高温度相差 $4.7\ ^\circ\text{C}$,在 1 000 r/min 时最高温度差降低到 $3.9\ ^\circ\text{C}$ 。孔洞的存在对工件的温度有影响,首先是孔洞及其周围的温度相对其它等同位置温度有所降低,其次是在相同转速和进深条件下,有孔洞的温升幅度低于无孔洞的温升幅度,这是由于孔洞位置没有摩擦从而使温度升高较慢。第三是加工过程中,刀具与炸药接触部位温度最高,被加工

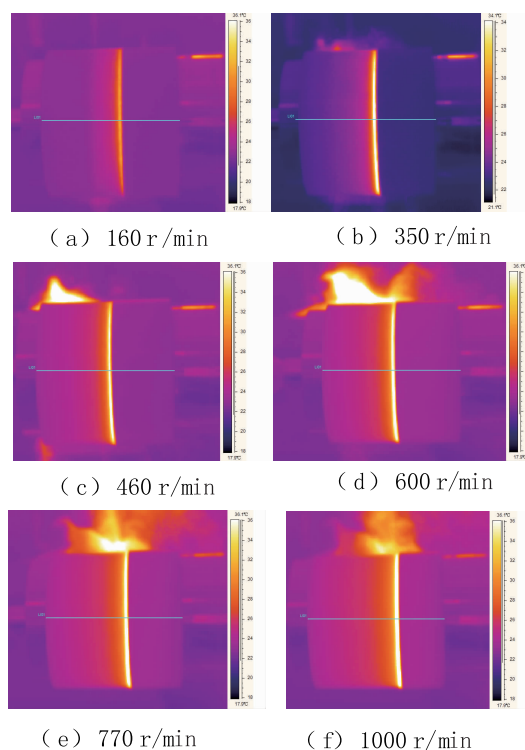


图 1 样品在 2 mm 加工进深,不同转速下的红外热图像

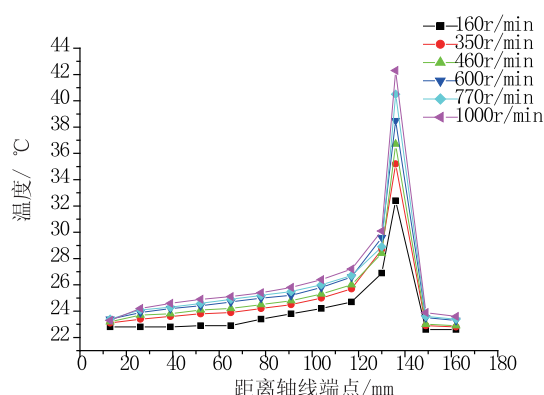


图 2 样品在 2 mm 加工进深,不同转速下轴线对应的温度曲线

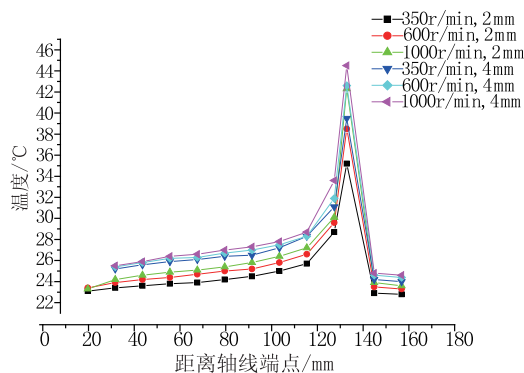


图 3 样品在不同进深,不同转速下轴线对应的温度曲线

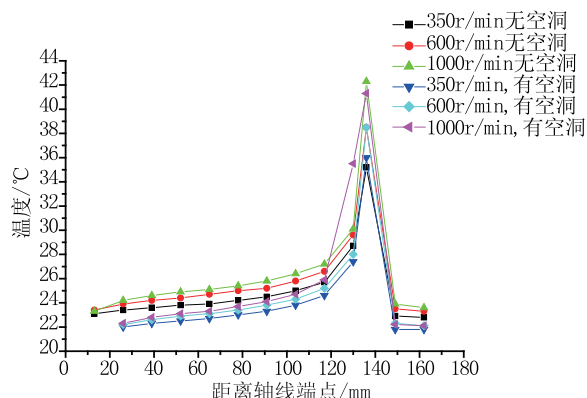


图4 样品2 mm加工进深,
药柱有无孔洞缺陷时轴线对应的温度曲线

过的位置的温度随着时间基本呈线性下降,而在离刀具越近的位置即使未被加工的位置的温度也有所升高。

4 误差分析

以上对炸药待用料加工过程的温度场的监测结果,可以一定程度上用于分析过程中的温度变化及其影响因素的规律,但红外热成像测量技术本身的测温原理会对测量结果有一定的误差。物体的热辐射通量取决于目标的温度及其表面发射率,而物体的发射系数是一个复杂的函数,与辐射体的材料性质、表面状况、温度、波长等因素有关。为了取得温度分布的准确数据,需要对物体的发射率数据进行校正。事实上,由于物体的发射率是物体温度和波长的函数,当物体存在着温度分布时,其发射率也同样存在着分布,但热像仪却只能根据给定的某一个发射率数据进行测试,其准确性受到限制。另外,辐射测温的感受元件有其自身的光谱响应,以及热辐射经大气传输时的吸收、散射等因素都会对辐射测温的精度有影响。

从上面的讨论中,可以得出测量的误差来源于

三个方面:①发射率不能精确确定。笔者采用对比法测试工件的发生率,使温度检测结果更接近真实值。②目标辐射经过大气时的吸收、散射。当测试距离较大或环境空气的湿度较大时,应作一定的补偿。③物体所反射的环境辐射。当物体本身辐射较小而环境辐射较大时,可能产生较大的误差,测试时应尽量避开或消除环境辐射的影响。

5 结论

采用红外热成像方法对炸药代用料的机加过程进行监测,得到了不同切削速率切削进深以及有无孔洞缺陷等因素对工件温升的影响规律:转速增大,温度最高值越高;相同转速下,进深越大温度越高,但转速越高,进深的影响越来越小;孔洞缺陷的存在使摩擦减小,工件温度有所降低。试验表明:红外热成像技术可以用于炸药材料机加过程的在线检测,并能定性和定量提供样品的温度变化信息,可为加工过程的安全性提供支撑。

参考文献:

- [1] 杨晶, BEHNIA M, MORRISON G. 应用红外热成像仪测量电子元件正常工作条件下的表面温度[J]. 红外技术, 2002, 24(3):44-48.
- [2] BOYLE R J, SPUCKLER C M, LUCCI B L, et al. Infrared low temperature turbine vane rough surface heat transfer measurements [J]. ASME Journal of Turbomachinery. 2001, 123(1):168-177.
- [3] SWEENEY P C, RHODES J F. An infrared technique for evaluating turbine airfoil cooling designs[J]. ASME Journal of Turbonmachinery. 2000, 122(1):170-177.
- [4] 张明, 曾令可. 火焰温度场的红外热成像动态测试[J]. 激光与红外, 1997, 27(5):288-291.
- [5] 陈东生, 李尚政. 红外测温仪在车削工件温度场监测中的应用. 传感器技术, 2002, 21(10):55-58.
- [5] 袁俊杰. 承载铁磁性构件的磁记忆检测技术研究[D]. 北京:北京理工大学, 2007.
- [6] GUO Peng-ju, CHEN Xue-dong, GUAN Wei-he, et al. Effect of tensile stress on the variation of magnetic field of low-alloy steel [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2011, 323:2474-2477.
- [7] JILES D C. Theory of the magnetomechanical effect [J]. Journal of Physics D-Applied Physics, 1995, 28(8):1537-1546.
- [8] LINDGREN M, LEPIST T. Effect of prestraining on Barkhausen noise vs. stress relation [J]. NDT&E International, 2001, 34:337-344.
- [9] 李一, 任尚坤. 铁磁试件静载拉伸时应力磁化的反转效应[J]. 钢铁研究学报, 2013, 25(3):30-33.
- [10] 徐章遂, 徐英, 王建斌. 裂纹漏磁定量检测原理与应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2005.

(上接第10页)