

学校编码: 10384

分类号_____密级

学 号: 19920141152906

UDC

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于状态信号特征提取的脆性材料去除行为监测研究

Research on Monitoring Behavior of Brittle Material

Removal Based on State Signal feature Extraction

郭 昕 乾

指导教师姓名: 毕 果 副 教 授

专 业 名 称: 机 械 工 程

论文提交日期: 2 0 1 7 年 月

论文答辩时间: 2 0 1 7 年 月

学位授予日期: 2 0 1 7 年 月

答辩委员会主席:

评 阅 人:

2017 年 05 月

基于状态信号特征提取的脆性材料去除行为监测研究

郭昕乾

指导教师

毕果
副教授

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

为了实现脆性材料的高效低损伤加工,本文对脆性材料加工过程状态特征以及磨粒磨损规律进行了较为系统的研究。本文在不同划刻参数条件下采集了声发射信号和力信号,利用提取的特征对典型光学脆性材料去除过程进行识别与监测,主要研究内容如下:

1.在四轴精密机床的基础上,搭建了脆性材料划刻实验平台。对 BK7 玻璃进行了压痕实验,实验中的信号特征变化大致分为三个不同阶段:在施加的载荷很小时,材料塑性变形,并未产生突发式信号;当载荷持续加载,应力超过断裂极限,产生侧向裂纹和中位裂纹,此时伴随着持续的突发式信号,幅值有一定上涨,频谱成分丰富;卸载过程中,中位裂纹闭合,残余应力使塑性变形区域产生侧向裂纹,此时有部分突发式信号产生,频率主要集中在 200kHz 附近。

2.研究了磨粒几何尺寸与状态信号特征的关系,结合划刻表面图像,发现小的刀具角度以及切削刃的增加会引起显著的脆性断裂,表现为在划刻过程中力和声发射信号幅值波动的加剧,而大的刀具角度能一定程度上抑制脆性材料裂纹的产生,减少其表面及近表面的裂纹扩散,其信号幅值波动较为平缓。

3.研究了切深与状态信号特征的关系,划刻实验表明脆性去除阶段, BK7 光学玻璃存在明显的切深转折点,发现切深在 25 μm 时振铃计数增长迅猛,此时低频段(100~200kHz)能量增长率也显著提高。结合不同切深的划刻表面图像,观测此时 BK7 产生了更大的脆性破裂,表面布满脆性崩碎及脆性裂纹,甚至有许多个剥离的碎块,检测结果与过程信号分析相吻合。

4.研究了磨粒磨损变化规律与状态信号的特征的相关性。得出磨粒顶锥角对磨损速率影响最大,其次是划刻深度,影响最小的是进给速度,经过测量,顶锥角 120°,划刻深度 30 μm 时,磨粒的磨损状况得到比较大的缓解。在磨损后期信号幅值大幅度上涨,产生间断性时间较长的突发式信号,特征频段主要集中在 320kHz,通过观测信号幅值大小和频谱成分的变化可以预测刀具的破损,提高对刀具磨损判断的准确性,实现对加工磨损的监测。

关键词: 脆性材料; 声发射; 信号特征。

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In order to achieve high and low damage processing of brittle materials, this paper studies the state characteristics of brittle materials and the wear law of abrasive grains. In this paper, acoustic emission signals and force signals are collected under different scoring parameters. The extraction process of typical optical brittle materials is identified and monitored by using the extracted features. The main contents are as follows:

1. On the basis of four-axis precision machine tools, we built a brittle material scoring experiment platform. The experimental results show that the deformation of the signal is divided into three different stages: when the applied load is small, the plastic deformation of the material does not produce the sudden signal. When the load is continuously loaded, the stress exceeds the fracture. And the lateral crack and the median crack are generated. At this time, with the continuous burst signal, the amplitude increases and the spectrum component is abundant. During the unloading process, the intermediate crack is closed and the residual stress causes the lateral deformation of the plastic deformation region. At this time there are some sudden signal generation, the frequency is mainly concentrated in the vicinity of 200kHz.

2. The relationship between the geometry of the abrasive grains and the characteristics of the state signals is studied. Combined with the scribing of the surface images, it is found that the increase of the small tool angle and the cutting edge can cause significant brittle fracture, which shows that the force and the acoustic emission signal. The amplitude of the tool is increased to a certain extent, and the crack of the brittle material can be suppressed to a certain extent, and the crack of the surface and the near surface can be reduced, and the amplitude of the signal fluctuates more smoothly.

3. The relationship between depth and depth is studied. The results show that there is a significant turning point in BK7 optical glass, and it is found that the vibration count increases rapidly at 25um, the low frequency band (100 ~ 200kHz) energy growth rate is also significantly improved at this point. BK7 produced a

greater brittle fracture, the surface covered with brittle collapse and brittle crack, and even a number of stripped fragments, the test results consistent with the process of signal analysis.

4. The relationship between the abrasive wear and the characteristics of the state signal is studied. It is concluded that the tip angle of the abrasive grains has the greatest influence on the wear rate, followed by the wiping depth, and the minimum is the feed rate. After the measurement, the taper angle is 120° and the wiping depth is $30\ \mu\text{m}$, the wear condition of the abrasive grains is relatively large. The relief. The amplitude of the signal is greatly increased at the end of the wear, resulting in a sudden burst signal with a long intermittent time. The characteristic frequency band is mainly concentrated at 320kHz . The damage of the tool can be predicted by observing the amplitude of the signal and the change of the spectral component. To determine the accuracy of the realization of the processing of wear and tear monitoring.

Key words: brittle materials; acoustic emission; signal characteristics.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 脆性材料去除机理的研究	2
1.2.1 脆塑性转变机理.....	2
1.2.2 脆塑性加工现状.....	4
1.3 刀具磨损监测的研究	6
1.3.1 刀具磨损检测方法.....	6
1.3.2 刀具磨损检测现状.....	8
1.4 声发射检测技术的发展及研究应用	9
1.5 课题主要研究内容	12
第二章 声发射信号分析理论	14
2.1 声发射信号的基本原理和信号处理方法	14
2.1.1 声发射信号的基本原理和技术特点.....	14
2.1.2 声发射信号处理方法.....	14
2.1.3 小波理论.....	16
2.2 压痕断裂力学理论及模型	17
2.3 本章小结	18
第三章 脆性材料去除行为实验	20
3.1 实验总体规划与实验装置	20
3.2 信号采集系统	21
3.2.1 声发射信号采集系统.....	21
3.2.2 力信号采集系统.....	22
3.3 实验方案	23
3.4 本章小结	25
第四章 脆性材料状态信号特征提取及分析	26
4.1 压痕实验分析	26
4.2 斜坡划刻实验分析	30

4.3 等切深划刻实验分析	32
4.4 本章小结	36
第五章 磨粒磨损规律及其状态信号表征	38
5.1 磨粒磨损状态信号特征分析	38
5.2 不同加工条件下划刻磨损规律	45
5.3 本章小结	56
第六章 总结与展望	58
6.1 总结	58
6.2 展望	59
参 考 文 献	60
致 谢.....	68
硕士期间科研成果	69

Table of Contents

Chapter1 Introduction	1
1.1 Background research	1
1.2 Research on Removal mechanism of Brittle materials.....	2
1.2.1 Plastic deformation and Brittle fracture	2
1.2.2 The Status quo of Brittle materials processing.....	4
1.3 Research on Tool wear monitoring.....	6
1.3.1 The Detection method of tool wear.....	6
1.3.2 The Detection status of tool wear	8
1.4 The Development and Application of Acoustic emission detection technology	9
1.5 The Main Research content	12
Chapter2 The Theory of Acoustic emission signal analysis.....	14
2.1 Basic principles of Acoustic emission signals and Signal processing methods	14
2.1.1 Basic principles and technical characteristics of acoustic emission signals.....	14
2.1.2 Processing method of Acoustic emission signals.....	14
2.1.3 Wavelet Theory	16
2.2 Indentation fracture mechanics theory and model.....	17
2.3 Conclusions.....	18
Chapter3 Experiment on Removal Behavior of brittle materials.....	20
3.1 Experimental master plan and experimental device	20
3.2 signal acquisition system	21
3.2.1 Emission signal acquisition system.....	21
3.2.2 Force signal acquisition system.....	22
3.3 Experimental program	23
3.4 Conclusions.....	25

Chapter4 Extraction and analysis of brittle material state signals....	26
4.1 Indentation experimental analysis.....	26
4.2 Analysis of Slope Scroll.....	30
4.3 Mathematical analysis of cutting and digging.....	32
4.4 Conclusions.....	36
Chapter5 Abrasive Wear Law and State Signal Characterization	38
5.1 Signal characteristics analysis of abrasive wear state	38
5.2 Rules of Scratching under Different Processing Conditions.....	45
5.3 Prospect.....	56
Chapter6 Summarize and Prospect	58
6.1 Summarize	58
6.2 Prospect.....	59
References	60
Acknowledgement.....	68
Achievements.....	69

第一章 绪论

1.1 课题研究背景

随着现代化的快速发展，脆性材料在各个领域得到了广泛的应用。光学玻璃作为典型的脆性材料，具有良好的机械、物理和化学性能，即便在高温下也能保持高强度、硬度及化学稳定性。随着科技的进步，各国间的军事竞争更加激烈，航天、能源技术，民用设备也得到快速的发展，所有这些因素都让光学玻璃器件的需求激增^[1]。同时，在光学玻璃器件制造方面，人们希望缩短生产周期、降低生产成本，同时对改善表面质量提出更高要求^[2]。得益于光学玻璃众多优异的特点，它在空间卫星、大型光学精密镜面以及一些激光武器上均有广泛应用^[3]。例如，世界上最大的地面基础望远镜加那列大型望远镜，该望远镜直径为 10.4 米，是由 36 个定制的镜面六角形组件构成，安装需要精确至 $1\ \mu\text{m}$ 范围^[4]；最近被称为“中国天眼”的世界最大 500 米口径球面射电望远镜 FAST 已经落成启用，它是由 4600 多片的大型镜片构成^[5]。

通常脆性材料具有耐磨性、耐腐蚀性、抗氧化性、抗高温等物理性能和力学性能。相对于塑性材料和高分子材料，脆性材料能够承受更加恶劣的工作环境。虽然脆性材料具有众多优异的性能，但由于脆性材料易脆、塑性低，容易产生裂纹等特点，使脆性材料比塑性材料的加工难度更大。传统的脆性材料车削加工通常存在效率低、加工质量差、消耗大等问题。在工业领域，为了满足对脆性材料的各种要求，其加工方法主要有磨削加工、化学腐蚀、研磨等。脆性材料加工时去除方式可以分为三类，最常见的为脆性去除、特殊条件下的塑性去除以及脆性塑性同时作用的去除方式。其中脆性去除是由裂纹的扩展和交叉共同完成的，主要表现为两种损伤：一个是表面损伤，主要是由径向裂纹(radial crack)引起的；另一个是亚表面损伤，由中位裂纹(median crack)和横向裂纹(lateral crack)引起^[6]。特别，在进行脆性材料宏观尺寸加工过程中，当施加的负载超过脆性材料的强度极限，脆性工件容易断裂，最终使得裂纹扩展、工件失效^[7]。脆性材料的损伤可能会影响其表面质量，降低其断裂强度、耐腐蚀性、疲劳强度、疲劳强度等性能，对后续加工也会造成危及；脆性材料的塑形加工是指仅对微小材料进行去除，保

证材料脆性变化可控,使其表面不遭受破坏,对于复杂曲面光学元件大多采用此类加工^[8]。塑性去除时的具体过程为,第一个阶段是工件表面上由于摩擦力等作用力导致的加工材料的弹性变形;第二个阶段是因为材料产生内部摩擦导致材料加工区域的塑性流动;最后一个阶段是切屑的去除^[9]。对于金属加工等一些传统材料加工,容易实现塑性切削,但对脆性材料比如光学玻璃、工程陶瓷等,通常使用传统的工艺手段很难进行塑性加工,在加工过程中,如果切削力达到了材料的强度极限时,就容易产生脆性断裂,进而对加工表面的质量产生严重影响^[10]。

在脆性材料微裂纹产生、扩展、断裂到最后破裂的过程,常常伴随着声发射现象。声发射是固体材料中普遍存在的物理现象,它作为一种新型检测技术在机械加工等领域取得了广泛的应用^[11]。由于声发射有检测灵敏度高,加工中能实现同步监测等特点,研究脆性材料加工中声发射信号与加工质量的关系,减少脆性材料的加工成本,提高生产效率,有着十分重要的应用价值^[12]。因此,声发射技术是研究脆性材料断裂演化过程的有力工具,它可以及时检测材料中的微裂纹,实时监测损伤过程,防止材料的进一步破坏,具有理论研究意义与实际应用前景^[13]。本文主要研究了信号特性与脆性材料去除行为的关系,进一步探讨了刀具磨粒高效、低损伤磨削的可能性,为脆性材料加工工艺参数的选择和优化提供了理论指导,最终兼顾高效率与高质量。

1.2 脆性材料去除机理的研究

1.2.1 脆塑性转变机理

由于脆性材料在加工容易产生裂纹,使用中易崩碎断裂、后续抛光时间过长,为解决这些问题,学者们研究脆性材料的去除行为方式,对于其脆塑转变问题进行了许多实验分析。

脆性材料的压痕实验发现,当载荷力很小的时候,会有一定程度的塑性变形产生,裂纹的长度与外加载荷有如下关系:

$$A=2\sqrt{\frac{P}{\lambda H}} \quad (1.1)$$

式(1.1)中,A表示裂纹的长度;P表示在材料表面纵向的加载载荷;λ表示和压头形状有关的常数^[14];H表示材料的硬度。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库