

学校编码: 10384
学 号: 32020111152722

分类号__密级__
UDC__

厦 门 大 学

硕士学位论文

新型导电加热车削原理及其试验验证

The new electric hot turning principle and experimental verification

周 竞

指导教师姓名: 王 希 副教授

专 业 名 称: 航空宇航制造工程

论文提交日期: 2014 年 4 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 月

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)经费或试验室的资助，在()试验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或试验室名称，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

摘要

随着现代工业技术的迅速发展,在兵器、航空、机械制造等部门引入了很多高强度、高硬度以及耐高温的难加工材料,这些材料有的强度大、硬度高,有的材料塑性大,在切削加工过程中随之出现大切削力、低材料去除率、高温升、加工硬化等现象,因而造成严重的刀具磨损、加工精度和表面质量难以保证等问题,有的甚至无法加工。用常规的加工方法、常规的刀具材料很难对材料进行切削加工,满足现代工业技术要求。

加热切削是对难加工材料进行切削的一种有效方法,本文提出了一种新的导电加热车削方法及其加热模型,旨在探究其可行性及效果。导电加热车削通过电源、加热电极、工件构成回路,在回路中通以低压大电流,电流流过电极与工件接触处产生的接触电阻时产生的大量的热量,工件温度升高而后软化,从而达到提高材料去除率、提高车刀寿命的目的;搭建了导电加热辅助车削试验平台,包括导电加热系统,基于虚拟仪器的加热切削加工过程信号采集、处理软硬件系统,进行了工件材料的高温硬度测试,采集了加工过程的振动信号;通过分析处理采集到的振动信号,优化车削工艺参数以及导电加热参数。

通过对淬火钢 T10A(硬度 HRC57)和高温合金 GH2132 的切削试验,证明这种方法是切实可行的,加热效率高,结构简单,成本低廉。通过对比试验,用小波变换和小波包变换处理加工过程的振动信号,发现导电加热干车削淬火钢比正常冷却润滑车削振动幅值降低 5—10 倍,高温合金的切削试验表明车刀的耐用程度提高、刀具负担减轻。从而证明此方法是可行且有效的,比普通润滑车削效果更好。

关键词: 导电加热车削 信号监测 振动 小波变换

Abstract

Along with the rapid development of modern industrial production, a lot of difficult—to—cut material which has high strength and high hardness or has high temperature resistance has been introduced in many departments such as weapon manufacture, aerospace industry and other machinery industry, in the process of machining there are problems such as bigger cutting force, lower material removal rate, higher material temperature increase, increased surface hardening, it's very hard to guarantee the precision and surface quality and serious tool wear, some material even can't be machined. It's very hard to satisfy the requirements of modern industrial production by using conventional machining means and conventional machining tool material to machining the difficult—to—cut workpiece material.

Hot machining is an effective method for cutting difficult—to—cut material. This article has presented a new electric heating assisted turning method and its heating model, this paper will study this new method's feasibility and analysis its effects. A dc large current with low voltage is applied to the circuit which is made up of the auxiliary electrode and workpiece. When the large dc current with low voltage flow through the contact resistances which generated by the point contact of auxiliary electrodes and the workpiece a lot of heat generates because of the increase of the current density, the heat makes the temperature of the workpiece rise so the workpiece material hardness decreases. So as to achieve the purpose of improve the cutting efficiency and the tool life. The experimental platform of electric heating assisted turning has been founded in this paper. The experimental platform has an electric heating system and a turning manufacturing process vibration signal collection and processing system that based on virtual instrument. The hardness of the workpieces at high temperatures has been test too, by analysis and processing the collected vibration signals then optimizing the cutting parameters and the electric heat parameters.

This method has been proved feasible along with the turning experiments of T10A hardened tool steel (HRC57) and GH2132 superalloy, it also has high heating efficiency, simple construction and low cost. By collecting and processing the

vibration signal of the comparison experiments with wavelet method and wavelet packet method, it turns out that the vibration amplitude of electric heating assisted turning is 5 to 10 times low than the common lubrication turning of T10A hardened tool steel, on the other hand the turning experiment of GH2132 superalloy shows that the cutting tool life improved obviously because of the decrease of the cutting tool burden. Finally it turns out that this new method is reliable and effective, compared to the common lubrication turning it's better.

Keywords: Electric heating assisted turning; Signal monitoring; Vibration; Wavelet Transform.

厦门大学博硕士论文摘要库

符号说明

α : 电阻的温度系数

Q : 热量

t : 时间

P : 功率

T : 温度

n : 转速

η : 效率

I : 电流

R : 电阻

C : 比热容

ρ : 密度

V : 切削材料体积

d : 直径

a_p : 切削深度

f : 进给速度

a : 导温系数、

K : 导热系数

v : 速度

G : 切变模量

D : 无限大区域内任一点至热源的距离

f_s : 采样频率

f_{max} : 最高频率

$\psi(t)$: 小波基函数

$\psi(\omega)$: 傅里叶变换函数

$\psi_{a, b}(t)$: 连续小波基

$W_f(a, b)$: 连续小波变换

$f(j, i)$: 第 i 层分解第 j 频带频率范围

$E_{m, j}$: 各个频段的能量

$x_{j, k}$: 重构信号

$S_{m, j}$: 离散点幅值

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

第一章 绪论.....	1
1.1 加热切削的研究背景.....	1
1.1.1 早期的加热切削.....	1
1.1.2 导电加热车削.....	2
1.1.3 等离子弧加热切削.....	2
1.1.4 激光加热切削.....	3
1.1.5 其他加热切削.....	3
1.1.6 国内的研究现状.....	3
1.2 导电加热切削的研究意义.....	6
1.3 本文的主要研究内容与创新点.....	7
1.3.1 本文的主要研究内容.....	7
1.3.2 本文的主要创新点.....	7
1.4 小结.....	8
第二章 新型导电加热车削原理.....	9
2.1 现有导电加热车削原理.....	9
2.2 新型导电加热车削原理.....	10
2.3 新型导电车削加热模型.....	11
2.3.1 加热电阻.....	11
2.3.2 导电加热的加热模型.....	13
2.4 小结.....	17
第三章 新型导电加热车削试验装置和试验参数.....	18
3.1 试验目的及思路.....	18
3.2 试验工件材料的选择.....	18
3.3 试验参数.....	18
3.4 试验装置及测试系统.....	20
3.4.1 试验装置总装.....	20
3.4.2 试验机床.....	21

3.4.3 试验刀具	22
3.4.4 工件材料	23
3.4.5 加热电源	24
3.4.6 加热电极	25
3.4.7 大电流电缆线	26
3.4.8 辅助夹具	26
3.5 试验信号采集硬件软件系统	26
3.5.1 试验信号采集系统	27
3.5.2 振动传感器	27
3.5.3 数据采集板卡	28
3.5.4 信号采集系统 LABVIEW 软件平台	29
3.6 小结	30
第四章 基于导电加热的高温硬度测量方法及试验	31
4.1 高温测硬度的背景	31
4.2 基于导电加热的高温硬度测量方法	31
4.3 基于导电加热的高温硬度测量方法所使用设备	33
4.4 高温测硬度试验及结果	34
4.5 小结	36
第五章 试验结果与数据处理	37
5.1 信号处理方法	37
5.2 振动信号的小波变换	40
5.2.1 小波变换简介	40
5.2.2 小波变换与信号去噪	42
5.2.3 小波基函数的选择	43
5.2.4 小波分解级数的选择	48
5.2.5 淬火钢 T10A 车削小波变换处理与分析	50
5.2.6 高温合金 GH2132 车削刀片寿命和切屑	53
5.2.7 高温合金 GH2132 小波变换处理与分析	56
5.3 振动信号的小波包变换	59

5.3.1 小波包变换简介	59
5.3.2 小波包变换处理与结果分析	60
5.4 小结	62
第六章 导电加热辅助车削有限元模拟仿真	63
6.1 模拟仿真思路	63
6.2 有限元建模与仿真	64
6.3 热流密度加载求解结果查看	66
6.4 小结	70
第七章 总结与展望	71
7.1 总结	71
7.2 展望	72
参考文献	73
硕士期间发表的论文和专利	77
致谢	78

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background of Hot Machining.....	1
1.1.1 Research Background of Hot Machining	1
1.1.2 Electric Hot Machining	2
1.1.3 Plasma Arc Assisted Hot Machining.....	2
1.1.4 Laser Assisted Hot Machining	3
1.1.5 Other Hot Machining.....	3
1.1.6 Domestic Research Status	3
1.2 Research Significance of Electric Hot Machining.....	6
1.3 Research Contents and Innovation.....	7
1.3.1 Research Contents	7
1.3.2 Innovation.....	7
1.4 Brief Summary	8
Chapter 2 Principle of New Electric HOT Turning.....	9
2.1 Principle of Existing Electric Hot Turning.....	9
2.2 Principle of New Electric HOT Turning.....	10
2.3 Heating Model of New Electric HOT Turning	11
2.3.1 Heating Resistor	11
2.3.2 Fundamental Principle of Electric Heating	13
2.4 Brief Summary	17
Chapter 3 Experimental Setup and Parameter of New Electric HOT	
Turning	18
3.1 Objective and Thought	18
3.2 The Choose of Workpiece Material.....	18
3.3 Experimental Parameter Setup.....	18
3.4 Experimental Apparatus and Test System	20
3.4.1 Experimental Apparatus Assembly	20

3.4.2 Experimental Lathe.....	21
3.4.3 Machining Tool	22
3.4.4 Workpiece Material	23
3.4.5 Heating Electric Power.....	24
3.4.6 Heating Electrode	25
3.4.7 Large Current Cable	26
3.4.8 Auxiliary Fixture	26
3.5 Signal Acquisition Hardware and Software System	26
3.5.1 Signal Acquisition System.....	27
3.5.2 Vibrating Sensor	27
3.5.3 DAQ Card.....	28
3.5.4 Software System.....	29
3.6 Brief Summary	30
Chapter 4 High Temperature Hardness Measurement Method Based on Electric Heating and Experiment.....	31
4.1 Background of High Temperature Hardness Measurement.....	31
4.2 High Temperature Hardness Measurement Method Based on Electric Heating	31
4.3 Equipment to Be Used.....	33
4.4 High Temperature Hardness Measurement Experiment and Result	34
4.5 Brief Summary	36
Chapter 5 Experimental Results and Signal Processing.....	37
5.1 Signal Processing Methods	37
5.2 Wavelet Transform of Vibration Signal.....	40
5.2.1 Introduction of Wavelet Transform.....	40
5.2.2 Wavelet Transform and Signal Denoising.....	42
5.2.3 Wavelet Functions Selection	43
5.2.4 Wavelet Decomposition Layers Selection.....	48

5.2.5 Wavelet Transform Processing and Analysis of Quenched Steel T10A Turning Experiment.....	50
5.2.6 Tool Life and cuttings of Superalloy GH2132 Turning Experiment.....	53
5.2.7 Wavelet Transform Processing and Analysis of Superalloy GH2132 Turning Experiment.....	56
5.3 Wavelet Packet Transform of Vibration Signal	59
5.3.1 Introduction of Wavelet Packet Transform	59
5.3.2 Wavelet Packet Transform Processing and Analysis	60
5.4 Brief Summary	62
Chapter 6 Electric Heat Temperature Simulation	63
6.1 Simulation Idea.....	63
6.2 Finite Element Modeling and Simulation	64
6.3 Loading Heat Flux and View Results	66
6.4 Brief Summary	70
Chapter 7 Summary and Prospect	71
7.1 Summary	71
7.2 Prospect	72
References	73
Publications	77
Acknowledgements	78

第一章 绪论

1.1 加热切削的研究背景

随着现代工业技术的迅速发展，在兵器、航空、机械制造等部门引入了很多高强度、高硬度以及耐高温的难加工材料，如高强度钢、高硬度钢、高温合金、淬火钢、不锈钢、高锰钢等。这其中淬火钢、高锰钢等强度大、硬度高，高温合金、不锈钢等韧性大、塑性大、加工硬化严重，对于这些难加工材料的加工会出现难以保证加工精度和表面质量、严重的刀具磨损等问题，甚至有的材料根本无法加工，用常规的加工方法、常规的刀具材料很难对材料进行切削加工，满足现代工业技术要求。加热切削通过软化工件材料可以有效降低材料强度、硬度和加工硬化等问题，是一种对难加工材料进行切削的有效解决方法。

通过使用热源的热量加热将被切除的工件材料使其软化，因而其强度和硬度也随之降低，加热切削最终实现刀具和工件材料的硬度比提高的目的。在加工过程中，刀具和工件材料的硬度比提高将显著降低切削力和功耗，因而切削的振动减小，金属材料切除率提高，抑制了鳞刺和积屑瘤的产生，加工表面质量得到改善；同时由于切削温度提高，加热切削还有效地抑制了加工过程中的加工硬化现象，提高刀具寿命^[1, 2, 3]。加热辅助切削的关键是如何高效、低成本、可控的加热工件。加热方法主要有整体法和局部法，国内外有用激光、等离子弧、感应、导电等方法进行加热。加热切削的关键是如何有效的加热。

1.1.1 早期的加热切削

最早进行加热切削尝试的是一个德国人B.C.Tilghman，他于1890年进行了加热切削的试验并取得了专利。此后加热切削开始受到重视是在第2次世界大战之后，许多难加工材料难以使用常规方法进行切削加工，而这些材料往往用于军事领域如航空和航海等。这个时期的加热切削加工质量难以保证且基本没有生产中的实际应用仅属于加热切削发展的初步阶段^[4]。

上世纪40年代初，美国的许多钢厂开始进行加热切削的尝试，他们使用普通的圆锯来切割加热后的钢锭，切削速度迅速。德国人Krupp的公司进行了一些简单的加热切削在工业上的应用，Krupp等人进行了将毛坯材料加热后粗车的试验

[5]。在此之后，美国巴特尔试验室的H.W. Kellett尝试使用焊炬来加热工件，也证明了加热切削的效果，他在一篇论文中提到高温提高了金属的可加工性，可以取得经济上的效益^[6]。美国的Samontoll进行了热点机械加工的研究，其加热铣削的研究试验表明，对高强度的试验材料加热之后采用较高的切削速度和进给速度进行加工，刀具的耐用度不变^[7]，此外，还有人进行了加热车削的尝试。

上世纪50年代，美国的Cincinnati铣床公司进行了许多加热切削方面的研究工作。他们使用电炉加热、射频电阻加热、高频感应线圈加热和火焰加热等方法来加热不锈钢、模具钢、马氏体钢等，当材料达到30—60HB范围内后进行了包括钻削、铣削、车削等诸多试验，得出了加热切削具有良好的效果的结论，加热切削不仅可以减小切削力提高材料的去除率还可以延长刀具的寿命^[8]。

1.1.2 导电加热车削

上原邦雄等日本学者在20世纪60年代初提出了导电加热切削方法(Electric Hot Machining)，简称EHM。其原理是将刀具与加热电源负极相连并与机床绝缘，电源正极利用电刷与工件相连，构成电源—刀具—工件—电源的回路，由于刀具与工件为点接触将会产生接触电阻，电源提供的低压大电流流经回路中的接触电阻时产生大量热量使工件材料被切削部位软化。这一方法具有诸多优点，加热效率高，温度升高迅速，适当加热温度下还可减少鳞刺和积屑瘤的产生从而提高加工表面质量，由于提高了刀—工材料间的硬度比，还可减少刀具磨损，提高刀具寿命，通过改良还可以用于其他连续切削加工方法^[9]。

1.1.3 等离子弧加热切削

上世纪70年代初，出现了另外一种新的加热切削技术，等离子弧加热切削(Plasma Arc Aided Machining)，这种技术由英国最先研制成功且取得专利，其原理是采用等离子弧加热工件上即将被刀具切除掉的材料，这种技术的优点是加热效果好，材料切削加工效率高，缺点是加热点离切削点有一段距离，这是由于等离子弧生成器本身有相当的体积，且加工过程中需要防护措施来隔绝工作中由于氢和其他惰性气体电离生成等离子弧而放出的有害气体，电极放电产生等离子弧会烧蚀电极^[8]。

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.

厦门大学博硕士论文摘要库