

学校编码：10384

分类号_____密级_____

学号：32020111152719

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

通电加热铣削技术及其过程监测研究

Electric Hot Milling and Its Process Monitoring

吴林涛

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5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发展，出现了很多高强度、高硬度和耐高温的材料。对这些材料进行加工时，切削力大，刀具磨损严重，加工表面质量差。随着历史的发展，人们发明了很多种针对这些材料的加工方法。像导电加热切削就是其中一种有效的加工方法。通过分析以往的加热切削方法的特点可知，目前国内外所有导电加热切削，根据其导电原理分析，只能用于车削、钻削等连续切削，而不能用于铣削这种断续切削，因为那样会产生电火花而烧伤工件。所以本文提出了一种新的通电加热切削方法，并用以铣削来验证。而且该技术也是一种无须切削液的绿色加工方法。

介绍了通电加热铣削的基本原理，并通过搭建的试验平台对淬火 T10A 工具钢和高温合金 GH2132 这两种典型的难加工材料进行试验，后通过分析加工后的表面粗糙度和用小波变换处理采集到的振动信号来证明这种方法的有效性。对淬火 T10A 工具钢的试验结果表明，在合理的工况下，通电加热铣削过程中的振动幅值相比传统铣削大约减小了 5 倍，表面粗糙度大约小了 10 倍。对高温合金 GH2132 的试验结果表明，在合理的工况下，通电加热铣削过程中的振动幅值相比传统铣削大约减小了 4 倍，而且通过扫面电镜分析得知，通电加热铣削产生的高温未改变高温合金 GH2132 加工深度方向上的金相组织。通过对两块材料的试验分析，得出的结果表明：当选择合适的切削参数时，通电加热铣削相比传统铣削，可以软化工件、降低加工振动、减小表面粗糙度、提高加工精度、降低刀具磨损、减小加工成本，还可以保证加工后材料的金相组织不发生改变。

另外还提出了一种基于通电加热的新型高温硬度测量方法，并用该方法分析了淬火 T10A 工具钢和高温合金 GH2132 这两种材料在高温下的硬度变化情况。通过试验发现，常温 57HRC 的淬火 T10A 工具钢在 300℃左右，硬度就急剧降低至 30HRC 左右；常温 53HRA 的高温合金 GH2132 在 600℃~700℃范围内，硬度也有所下降，大约降至 46HRA。通过与理论上这两种材料的材料特性相比较表明：该高温硬度测量方法确实是可行的，而且这也证明了本文提出的通电加热铣削的有效性。

关键词：通电加热铣削 小波变换 振动信号 高温硬度

Abstract

With the rapid development of modern industrial technology, a lot of high strength, high hardness and high temperature resistant materials have been introduced, which caused some problems, such as large cutting force, high cutting temperature, serious tool wear and poor processing surface quality. To machine these materials, many processing methods have been invented. Electric Hot Machining has been regarded as an effective method against these materials. We have known that all the hot machining methods just been used in continuous cutting, such as turning or drilling. It can't been used in milling that would spark to harm the workpiece. So a new electric hot machining is proposed in this paper and use it in milling.

The paper has proposed the theory and experimental device. Then two typical difficult-to-machining materials which are hardness of T10A carbon tool steel and superalloy GH2132 have been tested by the device. The efficiency of the new electric hot milling method has been proved by experiment and analyzing the surface roughness and the vibration signal that be processed by wavelet transform. The results show that the vibration amplitude has been reduced about 5 times and the surface roughness reduced about 10 times under a reasonable condition with the electric hot machining. And the microstructure of superalloy GH2132 has never been changed. It has been proved by experiment on these method that it really can significantly reduce vibration and tool life in milling process. And it also can reduce surface roughness of the material. Besides, the device is not only cheap but also simple and practical.

Besides, a new high-temperature hardness measurement method which based on electric hot technology is proposed. The change of hardness at high temperature of the two materials has been analyzed. The hardness of T10A carbon tool steel which has been hardened is nearly 57HRC at room temperature. But the hardness drastically reduce to 30HRC, when the material is heated to 300°C. And superalloy GH2132 which has been hardened is nearly 53HRA at room temperature. The hardness reduce to 46HRA, when the material is heated to 600°C~700°C. The efficiency of the new high-temperature hardness measurement method has been proved by the experiments. So the efficiency of the new electric hot milling method has also been proved.

Key words: Electric hot milling; Wavelet transform; Vibration signal; High-temperature hardness

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题的研究背景和意义	1
1.2 加热切削的研究现状	2
1.2.1 加热切削的发展历程	2
1.2.2 几种加热切削的特点	6
1.3 本文的主要研究内容与创新点	7
1.3.1 主要研究内容	7
1.3.2 创新点	7
1.4 小结	8
第二章 通电加热铣削原理	9
2.1 现有的通电加热铣削技术的理论基础	9
2.1.1 金属材料的软化效应	9
2.1.2 利用切削温度控制切削过程	10
2.2 本项目通电加热铣削的基本原理	11
2.3 通电加热铣削的加热模型	12
2.4 加热电阻分析	14
2.5 小结	16
第三章 工件高温硬度分析	17
3.1 高温硬度测量的研究现状	17
3.2 新的高温硬度测量方法	20
3.2.1 基本原理	20
3.2.2 试验验证与分析	22
3.3 小结	24
第四章 有限元仿真	25
4.1 传热模型的建立	25
4.2 基于 ANSYS 的温度场仿真	26
4.3 小结	31

第五章 通电加热铣削试验装置和试验参数	32
5.1 试验目的与思路	32
5.2 试验平台	33
5.2.1 试验装置总装.....	33
5.2.2 试验机床.....	34
5.2.3 电源.....	35
5.2.4 工件材料.....	36
5.2.5 试验刀具.....	37
5.2.6 加热电极.....	37
5.2.7 其他测量装置.....	38
5.3 信号采集软硬件系统	39
5.3.1 信号采集系统框架.....	39
5.3.2 振动传感器的选择.....	39
5.3.3 数据采集卡的选择.....	40
5.3.4 信号采集系统软件平台的建立.....	41
5.4 试验方案	43
5.5 小结	45
第六章 试验结果与信号处理	46
6.1 信号处理方法的选择	46
6.2 信号的小波变换	47
6.2.1 小波变换简介.....	47
6.2.2 小波基函数的选择.....	48
6.2.3 小波变换处理与分析.....	50
6.3 小结	57
第七章 总结与展望	58
7.1 总结	58
7.2 展望	59
参考文献	60
研究生在学期间的主要科研成果	64

Table of Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research Background and Significance	1
1.2 Research Status of Hot Machining.....	2
1.2.1 Development Process of Hot Machining	2
1.2.2 Feature of Several Hot Machinings	6
1.3 Research Contents and Innovation.....	7
1.3.1 Work Contents.....	7
1.3.2 Innovation	7
1.4 Brief Summary	8
Chapter 2 Principle of Electric Hot Milling	9
2.1 Theoretical Basis of Electric Hot Milling	9
2.1.1 Softening Effect of Metallic Materials.....	9
2.1.2 Use Cutting Temperature to Control the Process.....	10
2.2 Principle of Electric Hot Milling	11
2.3 Heating Model.....	12
2.4 Analysis Heating Resistor	14
2.5 Brief Summary	16
Chapter 3 High-temperature Hardness	17
3.1 Research Status.....	17
3.2 A New High-temperature Hardness Method	20
3.2.1 Principle	20
3.2.2 Experimental Analysis and Verification.....	22
3.3 Brief Summary	24
Chapter 4 Finite Element Simulation	25
4.1 Establish Transfer Model.....	25
4.2 Temperature Field Simulation on ANSYS	26
4.3 Brief Summary	31

Chapter 5 Experiment Device and Parameters	32
5.1 Objective and Thought.....	32
5.2 Experiment Platform.....	33
5.2.1 Installation.....	33
5.2.2 Machine Tool	34
5.2.3 Power Supply	35
5.2.4 Workpiece	36
5.2.5 Milling Tools.....	37
5.2.6 Heating Electrode.....	37
5.2.7 Other Devices.....	38
5.3 Signal Acquisition System.....	39
5.3.1 System Framework	39
5.3.2 Sensor Selection.....	39
5.3.3 DAQ Card Selection	40
5.3.4 Software System	41
5.4 Experimental Parameters.....	43
5.5 Brief Summary	45
Chapter 6 Experimental Results and Signal Processing.....	46
6.1 Signal Processing Methods	46
6.2 Wavelet Transform	47
6.2.1 Introduction.....	47
6.2.2 Wavelet Functions Selection.....	48
6.2.3 Processing and Analysis.....	50
6.3 Brief Summary	57
Chapter 7 Summary and Prospect	58
7.1 Summary	58
7.2 Prospect	59
Reference.....	60
Publications	64

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景和意义

随着现代工业技术的发展,对产品零部件的性能提出了很多新的特殊的要求,在现代工程材料中出现了许多难加工的材料,如淬硬钢、高温合金、不锈钢、钛合金、高强度钢等。这些材料普遍具有高强度、高硬度、高塑性和耐高温的特点。对这些材料进行加工时,切削力大,刀具磨损严重,加工表面质量差,金属切除率低,有些几乎很难进行直接切削。对这些材料进行切削加工研究,掌握其规律,寻求一些新的技术手段,是当前机械加工领域中的重要课题。

解决这类难加工材料的加工问题,目前一般有三类方法^[1]:

(1)磨削

磨削是一种为获得较低的表面粗糙度,零件的半精加工、精加工采用磨削的加工方法。

如:用在轴承和齿轮上的淬硬钢材料硬度高达 50HRC~65HRC^[2],用该材料加工滚动轴承套圈的生产工艺流程如表 1 所示^[3]。

表 1 滚动轴承圈的生产工艺流程

序号	加工工艺	公差等级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
1	管料、棒料—车削—软磨—热处理—磨削	IT7~IT6	0.8~0.4
2	管料、棒料—车削—软磨—热处理—粗磨—精磨	IT6~IT5	0.4~0.2
3	管料、棒料—车削—软磨—热处理—粗磨—精磨—精度磨削	IT5~IT30	0.2~0.008

但是,磨削加工成本高、效率低,并且砂轮及磨削液消耗量大、粉尘和废液污染程度严重,很难适应竞争激烈和经济飞速发展的要求。

(2)硬切削

硬切削是对高硬度金属材料直接进行车削或铣削的一种先进加工技术。随着对硬切削加工技术研究的不断深入,其在高效、节能、环保等方面的技术优

势引起了国内外广泛关注^[4-9]。硬切削相比传统的切削方法还是有很大优势的，如：降低了切削力、切屑带走加工的热量、改善了尺寸精度、提高了表面质量和降低了残余应力等。但是，硬切削在加工过程中产生了很大的热量，刀具容易磨损，寿命降低。同时，硬切削技术在实际生产中存在一定的障碍，包括：企业对该技术的加工效果了解不深、理论研究不够深入和试验工艺水平不足，还有就是刀具的成本太高，对于中小企业的小批量生产很难接受。

(3)其他新的加工方法：如振动切削、加热切削等。像加热切削就是一种能够对这些难加工材料进行高效切削的加工方法。

加热切削是在切削过程中，通过各种加热方式，对被切削材料进行加热，使切削区、表层或整体达到一个合适的温度后再进行切削的方法，其目的是使被加工材料的硬度、强度有所下降而易于产生塑性变形。与普通切削相比，由于被切削层的温度较高而使抗剪度下降，刀具寿命延长，生产效率提高。其加热方式有很多种，比如：用气体火焰加热、感应加热、导电加热、离子弧感应加热和激光加热。但是，这些加热切削技术都存在一些弊端，相应的弊端将在下一节作介绍。

而且我国是机加工大国，中小企业又占多数，大部分设备陈旧。如果能研究出一种既能有效提高难加工材料的切削效率，又能充分利用现有设备的加工方法，具有重大的现实意义。正是基于这样的背景，本文开展了通电加热铣削技术的研究。

1.2 加热切削的研究现状

1.2.1 加热切削的发展历程

加热切削已经有了很长的历史，其实质就在加工过程中，通过各种方式，对被加工材料进行加热，使切削区、表层或整体达到一个合适的温度后再进行切削加工的一种加工技术。其目的就是通过加热使工件软化，硬度和强度降低，从而减小切削力、抑制积屑瘤、提高刀具寿命、改善切屑形态和降低表面粗糙度等效果。

早在 1890 年的时候，B.C. Tilgham 就通过加热切削试验获得了美德两国的专利^[10]。

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