

学校编码: 10384
学号: 19920110154033

分类号_____密级_____
UDC_____

廈門大學

博士学位论文

微细电火花热作用机理及工件表面形貌研究
Thermal Effect Mechanism and Surface Topography of the
Micro-EDM Workpiece

王春梅

指导教师姓名: 洪永强 教授
专业名称: 机械电子工程
论文提交日期: 2015年1月
论文答辩时间: 2015年4月
学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015年4月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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（厦门大学微细电火花研究）课题（组）的研究成果，获得（福建省高端装备制造协同创新中心）课题（组）经费的资助，在（测控技术研究室）实验室完成。

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

微细电火花加工具有可以非接触加工、三维加工能力以及设备简单、可实施性强、加工性能与材料硬度强度无关等优点。这种方法能加工处理的材料非常广泛，不仅可以加工各种性能优良的金属、合金，还可以加工陶瓷、硅等半导体材料。因此，微细电火花加工在复杂微小零件的制作中有着独特的优越性，也得到了广泛的应用。目前，微细电火花加工的理论研究和工艺研究还存在很多问题，尤其在蚀除过程中，现在普遍采用普通电火花的加工机理来说明。微细电火花加工具有放电时间短、放电通道半径小及能量密度高等特点，所以其放电过程与普通电火花明显不同。因此，本文按照微细电火花加工蚀除过程和表面成形的先后顺序，对微细电火花窄脉宽放电加工的热源模型、不同放电电源下的单脉冲热作用机理、表面重铸层的成形机理以及工件表面形貌的表征体系进行了研究。

首先，本文在结合微细电火花脉冲放电时间短、能量小和间隙窄等特点的基础上，通过理论推导建立了微细电火花单脉冲放电的时变等离子体通道扩展模型。该模型基于磁流体力学和等离子体的相关知识，提出了一种采用了气泡机制和电子机制相结合的新型击穿机制。本文通过对该模型的理论计算，得到了在不同放电条件下相应等离子体通道的时变半径、温度和压强变化的数据。为进一步验证模型的可行性与正确性，本文进行了同等能量下的放电加工实验，并利用扫描电镜对被加工工件上放电留下的凹坑形貌进行扫描观测，获得了放电凹坑的半径尺寸，将其与理论计算的等离子体通道半径进行比较，验证了理论计算结果的正确性并对实验结果进行了相关分析。

其次，本文从热传导的角度对电火花单脉冲放电时的热作用凹坑进行了理论计算。根据新建的等离子体通道半径模型和高斯热源模型，采用 Fluent 有限元分析软件对微细电火花单脉冲放电进行数值模拟，并通过一系列实验，确定了放电过程中的能量分配系数，同时完善了微细电火花单脉冲放电热源模型。本文分析了基于 RC 脉冲电源和晶闸管脉冲电源的放电原理，对两种脉冲电源的放电机制、放电通道扩展以及放电热作用进行了深入研究。在新建立的时变放电通道扩展模型之上，通过理论计算了两种脉冲电源的放电通道扩展过程，确定了不同脉冲电源和不同加工参数下时变通道半径大小；然后结合材料性质和工艺条件，应用有限元方法对单脉冲电火花加工过程的热作用进行数值模拟，获取了同等能量下两

种脉冲电源在单脉冲放电过程中热作用凹坑的大小和形貌,结合单脉冲放电中测量的熔蚀直径的大小,计算出不同脉冲电源单脉冲放电时作用在工件材料上的能量分配系数,解决了能量分配系数难以确定的难题,完善了微细电火花加工单脉冲放电的热源模型。

继而,本文根据微细电火花加工工件重铸层表面形貌的特征,对重铸层成形机理以及不同电源下不同材料的重铸层厚度以及裂纹现象进行了研究。本文选用高速钢、钛合金作为工件材料,采用 RC 脉冲电源和晶闸管脉冲电源作为加工电源进行连续放电加工,并采用扫描电镜对被加工工件重铸层表面和剖面进行检测,分析了两者在微细电火花加工重铸层的形成过程、重铸层表面化学成分、重铸层厚度以及重铸层的裂纹现象的不同。根据所得实验结果,确定了对重铸层厚度影响最为显著的加工参数,拟合了微细电火花重铸层厚度关于加工参数的回归方程,获得了重铸层在线去除余量的估算公式,为重铸层的去除奠定了基础。

最后,本文在微细电火花加工的热源、蚀除机理以及表面重铸层成形机理的研究基础上,分析了不同加工条件对微细电火花加工工件表面形貌表征参数的影响。针对微细电火花加工工件的表面形貌特征,选用表面纹理、表面特征参数、表面幅值参数、表面重铸层厚度以及表面裂纹密度等参数对工件表面形貌做了各种表征,形成了微细电火花表面质量的表征体系,分析了不同加工工艺、不同加工参数以及不同加工材料对工件表面形貌的影响,对提高微细电火花加工表面质量有着重要的意义。

关键词: 微细电火花; 热源模型; 热作用机理; 重铸层; 表面形貌。

Abstract

Micro-EDM(Electric Discharge Machining) has brilliant advantages in non-contact processing, 3-D machining ability as well as the equipment is simple, practical strong, processing performance has nothing to do with the material hardness, strength, etc. This method has a very wide range of materials' processing ability, not only can process various metals and alloys with excellent properties, but also can be use in semiconductor materials such as ceramic, silicon. Therefore, Micro-EDM has a unique superiority in complex tiny parts production, also has been widely used. At present, the study of the theory of the Micro-EDM and processing research still exist many problems, especially in the process of removal in, which is now widely used ordinary EDM processing mechanism to explain. Micro-EDM is obviously different from ordinary EDM in the discharge process of small discharge time, discharge channel radius and high energy density. Therefore, in this paper, In the light of the electrical discharge machining removal process and the surface forming process in micro-EDM, micro-EDM heat source model, single pulse thermal mechanism of the different discharge power, recast layer forming of workpiece surface, characterization system of surface topography are studied.

First of all, in this paper, based on the combination of micro edm pulse discharge characteristics such as short time, low energy and narrow gap, a small energy and small gap in the micro-EDM, time-varying discharge channel extension model was established by theoretical derivation. The model is based on the knowledge of MHD and plasma, this paper proposes a new break down mechanism based on the combination of the bubble and the electronic mechanism. In order to verify the correctness and feasibility of the model, we carried out the discharge machining experiment in same energy condition and obtained the discharge crater radius by scanning electron microscope, then compared with the theoretical calculation of plasma channel radius and verified the correctness of the theoretical calculation results and analysis of the results of speculation.

Secondary, in this paper, thermal crater of single pulse discharge is computed in the theory from the Angle of heat conduction. According to the new model of radius of plasma channel and gauss heat source model, the finite element analysis software Fluent is adopted to numerical simulation of the micro-EDM single pulse discharge, combined with the experimental results, we determined the energy distribution coefficient of discharge process, perfectly supplemented the micro-EDM single pulse discharge heat source model. This paper analysed the discharging principle. Respectively based on RC pulse generator and voltage pulse power supply, carried out a deep research on the discharging principle of the two different kind of single pulse supply on plasma channel expansion and electrothermal. we ensure the size of the radius of the time-varying channel about different pulse power and different processing parameters by theoretical calculation of discharge channel extension process for two kinds of pulse power through the newly established time-varying channel extension model; then, combine with the material and technological conditions, we obtain thermal effect crater size and morphology of single pulse discharge in the equal energy of two kinds of pulse power by a numerical simulation of single pulse EDM process which is studied using the finite element method; Combined with the diameters of the single pulse discharge in measuring, we calculate the energy distribution coefficient of workpiece about single pulse discharge of the different pulse power, solve the problem of energy distribution coefficient is difficult to determine, perfect the micro electrical discharge machining heat source model of single pulse discharge.

Then, in this paper, Based on recast layer surface topography characteristics of micro-EDM workpiece, we study the recast layer forming mechanism, recast layer thickness of different materials and different power as well as the crack phenomenon. We Select the high speed steel and titanium alloy as the workpiece material, and use RC pulse generator and thyatron pulse power as energy for continuous discharge machining, then we use scanning electron microscopy(SEM) to test the recast layer surface and profile and analyze the forming process of the recast layer, surface chemical composition of the recast layer, recast layer thickness as well as recast layer

crack phenomenon. According to the experimental results, we determine the most significant processing parameters which impact to recast layer thickness, fitting out regression equation between the recast layer thickness and micro-EDM machining processing parameters, get allowance estimate formula recast layer by on line removal, which can predict the white layer thickness, Laying a foundation for recast layer removal.

At last, in this paper, On the basis of research in micro-EDM heat source, the mechanisms and the forming mechanism of surface recast layer, we Analyze the effect of the different processing conditions on the micro-EDM workpiece surface topography characterize parameters. According to the characteristics of the surface topography of micro-EDM machining, we represent the various characterization of the workpiece surface topography by surface texture, surface characteristic parameters, surface amplitude parameters, recast layer thickness and surface crack density parameters, these form the characterization of surface quality of micro-EDM machining, we also analyze the influence on the different processing technology, different processing parameters, different materials on the workpiece surface topography, these play an important role in improving the quality of micro-EDM machining surface.

Keywords micro-EDM, Heat source model, the thermal effect mechanism, recast layer, Surface morphology.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

摘 要.....	I
第一章 绪论	1
1.1 引言.....	1
1.2 微细电火花加工机理研究进展.....	2
1.2.1 微细电火花加工热源模型的研究进展.....	2
1.2.2 微细电火花加工放电通道的研究进展.....	5
1.2.3 微细电火花加工蚀除机理的研究进展.....	7
1.2.4 微细电火花加工表面形貌的研究进展.....	9
1.3 课题来源及研究目的.....	13
1.4 主要研究内容.....	14
第二章 微细电火花热源的等离子体扩展研究.....	17
2.1 等离子体的扩展过程.....	17
2.2 等离子体击穿模型.....	18
2.3 等离子体扩展方程的建立.....	20
2.3.1 磁流体动力学方程.....	22
2.3.2 能量平衡方程.....	25
2.3.3 电离方程.....	26
2.4 基于新击穿机制的等离子体扩展模型.....	27
2.5 单脉冲放电等离子体的扩展.....	28
2.5.1 单脉冲放电等离子体模型的计算.....	28
2.5.2 放电参数对等离子体扩展的影响.....	31
2.6 单脉冲放电实验.....	34
2.6.1 实验条件.....	35
2.6.2 实验结果和分析.....	36
2.7 本章小结.....	38
第三章 微细电火花加工的热作用机理研究.....	39
3.1 微细电火花加工的热作用过程.....	39
3.2 基于时变放电通道单脉冲热作用研究.....	39
3.2.1 基于时变放电通道单脉冲放电热源模型.....	39
3.2.2 基于时变放电通道单脉冲放电热作用的数值模拟.....	44

3.2.3 单脉冲放电实验.....	48
3.3 单脉冲放电能量分配系数研究.....	48
3.3.1 单脉冲放电能量分配系数计算模型.....	49
3.3.2 基于 RC 脉冲电源的能量分配系数的计算.....	50
3.4 RC 脉冲电源和晶闸管脉冲电源放电特性研究.....	53
3.4.1 两种脉冲电源的放电特性.....	53
3.4.2 两种脉冲电源的放电通道半径.....	57
3.4.3 两种脉冲电源的热作用研究.....	61
3.4.4 两种脉冲电源单脉冲放电实验.....	71
3.4.5 两种脉冲电源能量分配系数.....	73
3.5 本章小结.....	74
第四章 微细电火花加工的表面重铸层研究.....	75
4.1 表面重铸层成形机理研究.....	75
4.1.1 表面重铸层成形过程.....	75
4.1.2 重铸层成形过程的热作用因素分析.....	76
4.1.3 重铸层成形过程熔融材料抛蚀因素分析.....	79
4.1.4 重铸层成形实验研究.....	81
4.2 重铸层化学成分研究.....	85
4.2.1 钛合金加工能谱分析.....	85
4.2.2 高速钢加工能谱分析.....	87
4.3 重铸层厚度.....	88
4.3.1 能量对重铸层厚度的影响.....	89
4.3.2 材料对重铸层厚度的影响.....	93
4.3.3 脉冲电源对重铸层厚度的影响.....	97
4.4 重铸层裂纹研究.....	98
4.4.1 表面重铸层裂纹的形成.....	98
4.4.2 表面裂纹形式.....	99
4.4.3 不同材料表面裂纹.....	100
4.4.4 改善表面裂纹的措施.....	104
4.5 本章小结.....	105
第五章 微细电火花加工对表面形貌影响的研究.....	107
5.1 微细电火花加工表面形貌总体特征.....	107
5.1.1 表面形貌获取.....	107
5.1.2 表面形貌总体特征.....	108
5.2 微细电火花加工表面形貌表征参数.....	110
5.3 不同加工条件对表面形貌的影响.....	111

5.3.1 加工方法对表面纹理的影响.....	112
5.3.2 放电参数对表面特征参数的影响.....	113
5.3.3 放电参数对表面形貌幅值参数的影响.....	120
5.3.4 放电参数对重铸层形貌及厚度的影响.....	123
5.3.5 不同加工参数下表面裂纹现象.....	124
5.3.6 不同材料表面形貌总体特征.....	125
5.4 本章小结	126
第六章 总结与展望	129
6.1 总结.....	129
6.2 展望.....	131
参考文献	133
攻读博士学位期间取得的科研成果	139
致 谢.....	140

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.