

# 微型电火花装置直接驱动电极丝的研究

唐勇军<sup>1</sup>, 王振龙<sup>2</sup>, 郭钟宁<sup>1</sup>

(1. 广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510006 2 哈尔滨工业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对微小型电火花加工装置电极夹持困难、辅助加工时间长等问题, 提出了直接驱动电极丝的方法, 采用超声马达作为电极的驱动器. 利用有限元分析方法对超声马达进行模态分析, 求解出超声马达的最佳振动模态和驱动频率. 对整个系统进行了实验研究, 验证了该系统的可行性.

关键词: 电火花加工; 直接驱动电极丝; 微型电火花装置; 有限元分析

中图分类号: TG661

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2007)04-0053-04

常规电火花加工装备在精度和能量上都不利于实现微细加工. 目前, 微细电火花加工有两个主要发展方向, 一种是针对微小型零件加工而进行的新机床的开发<sup>[1]</sup>; 另一种是侧重于电极直接驱动的微小型电火花加工装置的研究. 后一类装置更适合于一些专用微细电火花加工的场所, 如可在狭小空间内作业及移动作业, 因而受到广泛的关注<sup>[2,3]</sup>.

然而, 微小型电火花加工装置真正投入实际生产的非常少, 因为电极丝的夹持技术是制约其实际应用的一个难题. 国内外学者在微小型电火花加工装置夹持工具方面做了大量的研究<sup>[4,5]</sup>, 但没有彻底解决辅助加工时间长、总需要重新更换和定位电极等致命问题. 本文提出了一种新型的直接驱动电极丝的电极夹持方式, 该方法有望解决以上问题.

## 1 直接驱动电极丝的实现

现有的微小型电火花加工装置, 一般都是通过电极夹具夹持电极丝, 然后驱动整个夹持部件进行运动, 从而实现电极丝的进给与回退. 该方法遇到两个问题: 第一就是随着加工的进行, 电极丝会被磨损掉, 需要定期更换电极, 由于装卸电极困难, 整个加工过程效率很低, 且电极安装后需要重新定位; 另一个就是超声马达采用摩擦驱动, 驱动力非常有限, 且电极夹具相对比较沉重, 惯性大, 所以当需要加工斜孔时, 整个装置倾斜角度较大, 就会大大影响马达驱动性能, 甚至加工无法进行.

为了解决第一个问题, 研究人员提出了如图 1 (a)<sup>[5]</sup>所示的方案, 该电极丝夹持采用的是类似于

自动铅笔机构原理. 在加工过程中, 当电极丝被损耗至一定长度时, 水平方向进给机构就会自动实现进给, 从而像自动铅笔芯那样往前伸长一小段, 补偿电极损耗, 所以不必频繁卸装电极, 提高了加工效率. 但该装置不间断加工时间还会受到电极丝长度制约, 也没有解决加工倾斜孔的问题.

为了解决图 1 (a) 存在的问题, 本文提出了图 1 (b) 的驱动方式. 该方式是马达驱动齿直接与电极丝接触, 驱动齿与电极丝之间是一种线接触关系, 所以每根电极丝占用驱动齿的面积非常小, 从而可以实现同时多电极进给, 同时加工多个孔成为可能. 由于是电极丝直接被驱动, 省去了电极夹具, 超声马达移动体的质量大大降低, 惯性减小. 如果加工斜孔, 装置需倾斜一定角度, 照样可以正常工作. 该装置实现了加工过程中的连续自动送丝, 大大提高了加工效率.

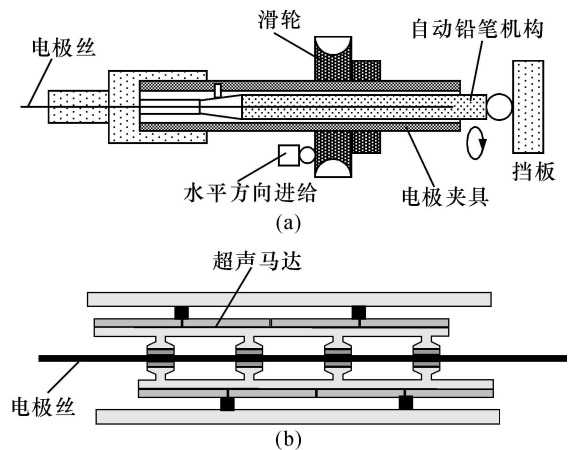


图 1 直接驱动电极丝的微型电火花机构

收稿日期: 2007-03-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (5977020); 广东工业大学博士基金资助项目 (063040)

作者简介: 唐勇军 (1975-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为特种加工, 微细加工, 超声马达技术.

## 2 电极丝驱动器的运动仿真

该电火花系统加工效率的高低, 直接由电极驱动器的驱动性能决定, 本系统采用的是超声马达驱动器. 超声马达由于具有单位重量下可获得的转矩大、无需减速机构、可实现直接驱动、结构简单、噪声较小等优点而在微驱动领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>. 超声马达工作性能优劣, 主要由振动振型和驱动频率决定, 下文利用有限元方法来求解马达振型.

超声振子有 4 个凸起 (驱动齿), 平板长 40 mm, 宽 10 mm, 压电陶瓷厚 1 mm, 弹性体厚 1 mm, 驱动齿的底部宽 1.2 mm, 驱动齿的顶部宽 3 mm, 摩擦材料厚 1 mm. 其中底部的压电陶瓷有 4 片, 通过给压电陶瓷施加不同相位的激励, 就会使压电陶瓷产生合理的振型. 超声马达由上下两个定子组成, 整个装置体积非常微小, 为 70 mm × 40 mm × 50 mm.

采用 ANSYS 7.1 有限元软件建立压电振子的动力学模型仿真压电振子的动态特性, 考虑到压电陶瓷的机电耦合效应, 这里采用第二类压电方程来表征逆压电效应

$$T = c^E S - e^T E, \quad (1)$$

$$D = eS + \epsilon^E E, \quad (2)$$

式中:  $T$  为应力张量;  $D$  为电位移张量;  $S$  为应变张量;  $E$  为电场强度矢量;  $c^E$  为短路弹性刚度矩阵;  $\epsilon^E$  为夹持介电常数矩阵;  $e$  为压电应力常数矩阵;  $e^T$  为  $e$  的转置矩阵.

在建立实体模型的时候要输入相关的压电常数, 关键的压电参数有 3 个.

介电常数矩阵  $[\epsilon^E]$ :

$$\begin{bmatrix} 804.6 & 0 & 0 \\ 0 & 804.6 & 0 \\ 0 & 0 & 659.7 \end{bmatrix},$$

压电常数张量矩阵  $[e]$  C/m<sup>2</sup>:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -4 \\ 0 & 0 & -4 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10.5 & 0 \\ 10.5 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

弹性刚度常数矩阵  $[c] \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>:

$$\begin{bmatrix} 13.2 & 7.1 & 7.3 & 0 & 0 & 0 \\ & 13.2 & 7.3 & 0 & 0 & 0 \\ & & 11.5 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 3.0 & 0 & 0 \\ & & & & 2.6 & 0 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix}$$

整个有限元求解过程分 3 步进行: 1) 建立实体模型; 2) 进行网格划分; 3) 将上述参数及网格划分送入计算机进行解算, 最后求出超声振子的合理振型. 所谓合理, 就是振动频率在 20 kHz 以上, 且完全满足驱动电极的要求, 扭转振动要尽量小, 最好是标准的正弦振动. 在完成以上 3 步处理以后, 通过 ANSYS 软件的后处理模块——动画模拟, 可以得出第 9 阶 (33 46 kHz) 的振型符合驱动的要求, 该阶振型的等轴侧视图如图 2 所示.

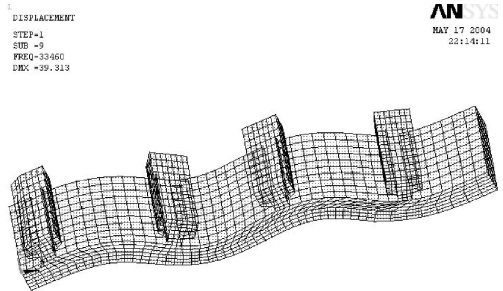


图 2 超声振子的合理允动振型

## 3 实验结果

### 3.1 电极驱动性能测试

为了测试所研制的微小型电火花加工装置的电极驱动性能, 图 3 所示为测试系统框图. 由于该电极振动频率高, 且电极丝刚度较低, 所以其运动特性用电容测微仪检测, 且电容的输出信号需要进行滤波, 其中 DSW-III 为电容式非接触超精密振动 - 位移测量仪.

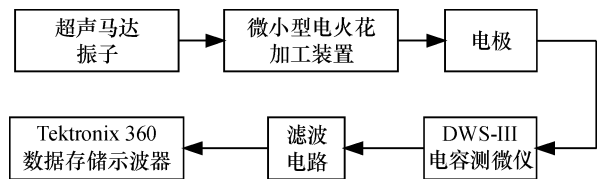


图 3 电极进给性能测试系统

图 4 是单个超声马达振子驱动电极丝时, 电极的运动特性图. 从该图可看出, 电极的运动保持了很好的直线度, 具有良好的步进性. 经大量实验得出, 该马达的进给驱动步距的变化范围较大, 可以在不同的加工要求下, 选择不同的进给步距, 有利于提高加工效率, 最小进给步距可达到 1 μm 以下, 完全满足微细电火花加工的要求.

### 3.2 加工效果验证

在电火花的加工过程中, 当需要加工斜孔 (尤其是异形孔) 时, 加工装置就需要倾斜相应的角度, 由于普通的微小型电火花加工装置在驱动电极时需

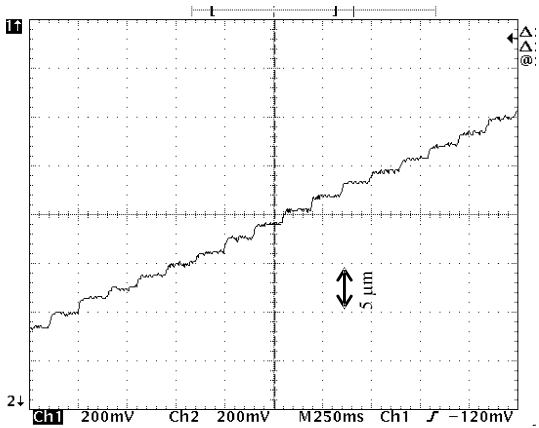


图 4 电极驱动特性测试结果图

要专门的夹具, 此时由于电极质量大, 惯性也就过大, 一般会产生电极下滑的情况, 同时电极的驱动特性与水平放置有明显区别. 本文研制的基于超声马达的微型电火花加工装置由于是电极丝直接驱动方式, 电极的惯性大大降低, 可以很好地解决以上难题. 图 5 是该装置加工微小斜孔时的示意图, 从该图

可以看出, 电极的轴线方向与工件的法线方向之间的夹角  $\theta$  就是要加工斜孔的倾斜角度. 通过调整倾斜角度  $\theta$  值, 可以加工相应倾斜角度斜孔.

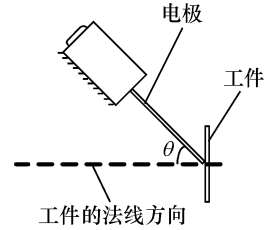
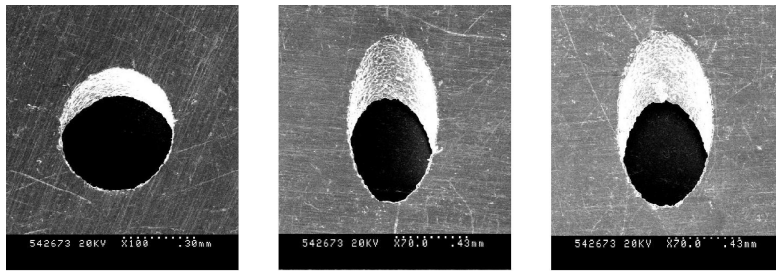


图 5 加工微斜孔的示意图

图 6 为本装置加工的  $\Phi = 0.5 \text{ mm}$  微小斜孔, 实验条件为: 开路电压:  $80 \text{ V}$ ;  $RC$  脉冲电源:  $R$  为  $800 \Omega$ ,  $C$  为  $680 \text{ pF}$ ; 工作液: 航空煤油; 工件材料: 不锈钢; 加工极性: 正极性加工. 在加工的过程中, 电火花加工装置的倾斜角度分别为:  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $60^\circ$ , 于是加工出相应倾斜角度的斜孔. 该装置能加工出  $0^\circ \sim 90^\circ$  范围内的斜孔.



(a)  $\theta=30^\circ$  (b)  $\theta=45^\circ$  (c)  $\theta=60^\circ$

图 6 微斜孔加工实例 (直径:  $0.5 \text{ mm}$ )

## 4 结论

通过以上的论述可知, 在微型电火花加工系统设计中实现直接驱动电极丝是完全可行的, 采用直接驱动电极丝的方法, 可以很好地解决微型电火花加工装置电极夹持和更换困难、辅助加工时间长、重新定位精度低等问题. 通过有限元分析的方法, 可以很好地指导超声马达的实际制作, 同时可以求解出超声振子的最佳振型、合理的驱动频率, 使超声马达驱动效果更好, 工作效率更高. 单个超声马达可以实现  $1 \mu\text{m}$  以下的最小单步进给步距, 完全满足微细电火花加工的要求, 同时利用本装置完成了  $\Phi = 0.5 \text{ mm}$  的斜孔加工.

## 参考文献:

- [ 1 ] MASUZAWA T. State of the Art of Micro machining [ J ]. Annals of the CIRP, 2000, 49( 2 ): 473-488
- [ 2 ] MASUZAWA T. Micro-EDM [ C ] // Anon International Symposium for Electro machining ( ISEM-13 ). Spain [ s n ] 2001: 3-15
- [ 3 ] Naotake Mohri, Katsushi Furutani, Kazuhisa Shirai et al. Forced discharge dispersion by Dot-matrix method [ J ]. Annals of the CIRP, 1997, 46( 1 ): 139-154
- [ 4 ] 刘维东, 赵万生, 狄士春, 等. 小型电火花加工装置中电极的驱动与控制 [ J ]. 电加工, 1998( 2 ): 12-15
- [ 5 ] SHEU Dong-Yea, MASUZAWA T. Development of Large-scale production of microholes by EDM [ C ] // Anon International Symposium for Electro Machining ( ISEM-13 ), Spain [ s n ] 2001: 747-758

## Study of Directly Driven Electrode Thread for Miniaturized EDM Device

TANG Yong-jun<sup>1</sup>, WANG Zhen-long<sup>2</sup>, GUO Zhong-ning<sup>1</sup>

(1. Faculty of Electromechanical Engineering Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

2. Faculty of Electromechanical Engineering Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract** In order to resolve the problem of long assistant machining time, miniaturized EDM device with electrode direct driving mechanism has been designed using an ultrasonic motor as its driver. The analysis of vibration modal is accomplished by using ANSYS. Furthermore, the optimal vibration modal and driving frequency have been implemented by an inbuilt function of ANSYS. The test of the whole system has been conducted, and the feasibility of the system has been verified.

**Key words** electron discharge machining (EDM); directly driven electrode thread; miniaturized EDM device; Finite Element Method (FEM)

(上接第 52 页)

[2] 刘铁南. 中国燃料乙醇产业发展 [J]. 中国能源, 2002

(2): 6-10

(3): 6-10

[4] 易军民. 价值工程评标法 [J]. 中国市政工程, 2003(2):

[3] 傅其军. 燃料乙醇的发展前景 [J]. 广西轻工业, 2001

51-53

## Application of Value Engineering in Choosing Blended Ratio of Ethanol-Diesel

HUANG Hua, PENG Mei-chun, HU Qiang, LIN Yi-qing

(Faculty of Electromechanical Engineering Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract** This paper applied the basic principles of value engineering to integrally analyze the dynamic, economic and emission characteristics of engines supplied with ethanol-diesel blend fuel with different blended ratio of ethanol-diesel. It proposed an evaluation method for blended ratio of ethanol-diesel according to value coefficient which reflected the performance-value ratio. Evaluation results indicate that 15% blended ratio of ethanol-diesel is best for ratio of performance-value.

**Key words** engine; blended ratio of ethanol-diesel; performance-value ratio; value engineering