

微细特种加工组合系统及应用

贾宝贤, 郭景哲, 王冬生

(哈尔滨工业大学(威海)船舶工程学院, 山东 威海 264209, jiabx@126.com)

摘 要: 为了改善微细特种加工工艺, 提出并研究了具有实体工具的微细特种加工的组合技术. 对几种微细特种加工工艺进行分析, 找出其共同特征. 将微细电火花、微细超声、微细电解加工组合在同一系统中. 采用了模块化设计, 针对该系统研制了基本模块, 配备了视频显微系统. 用微细电火花工艺加工出直径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的微细轴和直径 $6\text{ }\mu\text{m}$ 的微细孔以及形状复杂的微结构, 用倒置式电火花-超声复合工艺加工出深径比 >25 的微细孔, 用微细超声工艺加工出直径 $13\text{ }\mu\text{m}$ 的微细孔, 用微细电解工艺加工出直径 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的微细孔. 这种组合扩大了微细特种加工的范围, 提高了加工效率.

关键词: 微细加工; 电火花加工; 超声加工; 电解加工; 特种加工

中图分类号: TG661

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)07-1117-04

Composite system for non-traditional micro machining and its application

JIA Bao-xian, GUO Jing-zhe, WANG Dong-sheng

(School of Ship Engineering, Harbin Institute of Technology, Weihai 264209, China, jiabx@126.com)

Abstract: In order to improve the process of non-traditional micro machining, a composite technology with solid tool was proposed. Several non-traditional micro-machining processes were analyzed and their common features were found out. The micro electro-discharge machining (EDM), micro ultrasonic machining (USM) and micro electrochemical machining (ECM) were combined in the same system. The module design was used for this system. The basic module was developed, and a video microscopic subsystem was equipped in the system. Then, $\Phi 5\text{ }\mu\text{m}$ micro rods, $\Phi 6\text{ }\mu\text{m}$ micro holes, and microstructures with complicated profile were machined by micro EDM; the micro holes with aspect ratio larger than 25 were machined by EDM with USM in inversion installing; $\Phi 13\text{ }\mu\text{m}$ micro holes were drilled by micro USM; and $\Phi 100\text{ }\mu\text{m}$ micro holes were machined with micro ECM. This kind of combination expands the range of non-traditional micro machining and improves the processing efficiency.

Key words: micro machining; micro-EDM; micro-USM; micro-ECM; non-traditional machining

目前, 微机械制造有 3 种途径: MEMS 技术、微细特种加工和微细切削加工. MEMS 技术难以加工具有特殊性质的金属材料, 如一些极限作业环境下所要求的高强度、高韧性、耐磨、耐高温、抗疲劳等性能的材料. 微细切削存在宏观切削力, 而且不能加工比刀具硬的材料.

特种加工方法多数属于非接触加工, 一般没

有宏观的切削力作用, 因此它们在加工微小尺度的零件时具有独特的优越性. 目前, 微细特种加工方法较多. 相对而言, 电火花、超声、电化学加工对工作环境要求不高, 所需设备成本较低, 因而较容易推广, 而且它们在微三维结构的加工中具有明显优势^[1-4]. 将几种微细加工工艺复合, 可以收到比单一加工工艺更好的效果^[5-7].

本研究将几种微细特种加工工艺组合到一个系统内, 以充分利用高精度的机械本体, 节省设备费用和空间, 增加设备的工艺范围和效率^[8]. 其功能包括微细电火花加工、微细超声加工和微细电解加工.

收稿日期: 2009-02-20.

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(Y2007F09).

作者简介: 贾宝贤(1961—), 男, 博士, 教授

1 微细特种加工系统的设计

微细电火花、微细超声和微细电解加工的共同特征是:加工时使用实体工具,如微细杆或微细成型工具.因为要求工具的回转精度在 1 μm 以内,所以这些工具必须在线制作,不允许二次装夹.这 3 种微细特种加工工艺的特点如表 1 所示.

表 1 3 种微细特种加工工艺的特点

加工工艺	基本功能	加工对象	对设备的要求
微细电火花加工	制备微细工具 加工微细圆孔 加工微三维结构	导电材料	微进给
			三轴联动数控
			高精度主轴
			微细工具
微细超声加工	加工微细圆孔 加工微细异型孔 超声电火花复合加工	脆性及导电材料	在线显微观察
			杂散电容小
			微能放电
			放电状态检测
微细电化学加工	加工微细圆孔 加工微细异型孔 加工微三维结构	导电材料	微进给
			三轴联动数控
			高精度主轴
			微细工具
			在线显微观察
			产生微振幅超声波
			微进给
			三轴联动数控
			高精度主轴
			微细工具
			在线显微观察
			产生低压高频脉冲
			耐腐蚀

根据表 1,将整个系统划分成共用模块和专用模块.共用模块用来满足所有工艺对设备的要求,由基本模块和辅助模块组成.专用模块指每种加工工艺的专用部分,用来满足专项加工工艺的要求.系统的模块组成如图 1 所示.

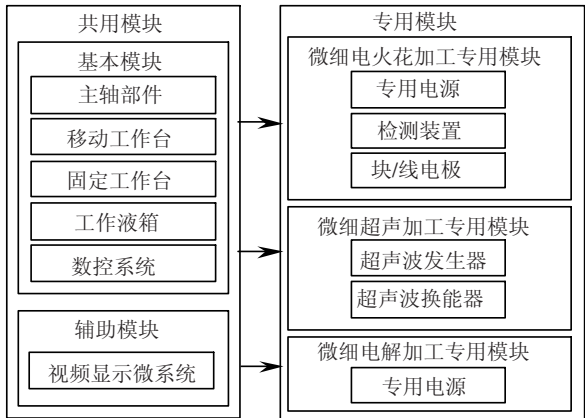


图 1 微细特种加工系统的模块组成

1.1 基本模块设计

基本模块为 3 种微细加工工艺所共用,但微细电火花加工工艺对该模块的要求最高,只要满足了微细电火花加工的要求,就能满足其余微细加工工艺的要求.因此,可以参考微细电火花机床的本体进行该模块的设计.

机床的主要功能是加工微细轴、微细孔和微三维结构.因此需要的主运动为电极相对于工件的回转运动;进给运动为电极相对于工件的三坐标移动.

机床由三坐标数控移动工作台、主轴部件、固定工作台以及工作液循环系统等组成.考虑到微细电火花加工中工件必须安装在工作台上,工作台与工作液箱联为一体,质量较大,而主轴部件重量较小,因此设计为主轴既做回转运动又做 3 个方向的进给运动,工作台不运动.主轴为立式,以确保滴液电火花加工或超声加工时工作液能顺利进入加工区,并能适应浸液加工,以便实现电解加工以及倒置式加工.如图 2 所示.

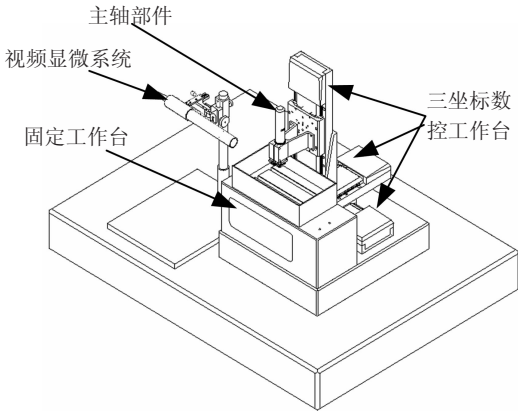


图 2 组合式微细特种加工系统的构成

考虑到固定工作台既要安装工件,又要作为工作液箱的一部分,故采用花岗石材料.与其他材料相比,花岗石具有耐腐蚀、耐磨损、精度高、绝缘性好、吸振能力强、热变形小等优点.可以满足电火花加工、电解加工对工作台低杂散电容和耐腐蚀的要求.

1.2 辅助模块设计

辅助模块为视频显微系统.该系统由 CCD 和图像信号采集卡组成.图像信号经采集后通过 USB 口被送往计算机并显示在监视器上,在 17 吋的屏幕上,图像的放大倍数约为 60 ~ 300,可以根据视场的大小进行调节.能够比较清楚地在线观察加工状态,检测微细轴的加工直径,以及圆柱度情况.

1.3 微细电火花加工专用模块设计

微细电火花加工专用模块主要是专用电源、

放电状态检测系统等。

专用电源为弛张式 RC 脉冲电源. 这种电源结构简单,易于产生和调整单个脉冲放电能量. 该电源的电容和电压都是可调的,以满足不同的工况需要。

伺服检测系统用来检测加工时的放电状态,对充放电的电压平均值进行采样,然后通过 A/D 转换反馈到计算机. 在控制软件中设置了两个阈值——上限和下限,这两个阈值可以根据加工需要进行调整. 当采样电压值在上限和下限之间、低于下限或高于上限时,计算机判定其加工状态分别为正常、短路或开路. 并控制主轴分别执行工作进给、快速回退或快速进给。

1.4 微细超声加工专用模块设计

微细超声加工专用模块由超声波发生器、换能器和微细工具组成. 换能器用压电陶瓷制成,振动频率大约为 20 kHz,振幅 1~4 μm. 由于这一振幅范围足以满足微细超声加工的要求,所以不需要用变幅杆将振幅放大. 微细工具是利用微细电火花工艺在该系统上磨削的。

1.5 微细电解加工专用模块设计

微细电解加工中的主要问题是杂散腐蚀. 限制杂散腐蚀的方法主要是提高电源的脉冲频率,降低工作电压,减小电解液的浓度. 微细电解专用模块由微细电解脉冲电源和工具电极组成,如图 3 所示. 电源由单片机和功率放大器组成. 单片机作为主振级,通过指令使 I/O 口发出脉冲. 脉冲的频率、脉宽、脉间可编程调节. 加工用的微细电极是利用微细电火花工艺在该微细加工系统上磨削的。

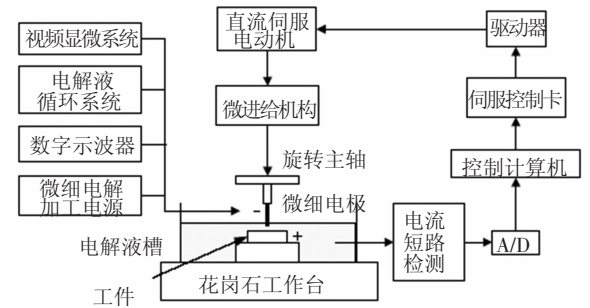


图 3 微细电解加工系统的组成

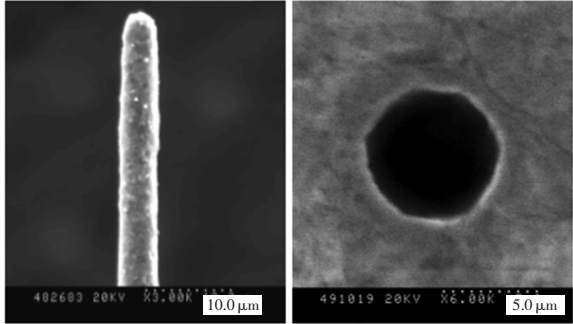
2 系统的应用

2.1 微细电火花加工微细轴和孔

用块电极切向进给法^[9]在该系统上进行了电火花磨削微细轴的实验,微细轴的照片如图 4(a)所示,微细轴直径约为 5 μm. 从图中可以看到,用块电极加工的微细轴的圆柱度和表面粗糙度都比较好,加工质量可以与 WEDG 法^[10]媲美。

对比实验表明该方法比 WEDG 方法生产率高,工艺稳定性好,操作简单。

用微细轴作为工具电极加工了微细孔. 加工结果如图 4(b)所示,微细孔的直径大约 6 μm.

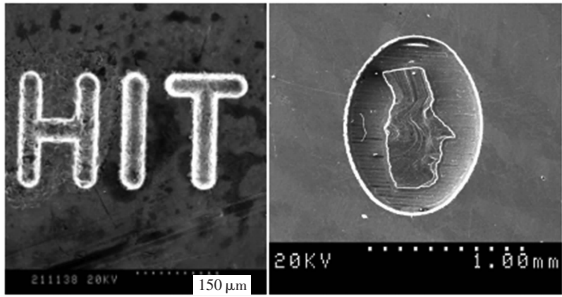


(a) 微细轴 (b) 微细孔

图 4 微细电火花加工的微细轴的 SEM 照片

2.2 微细电火花分层铣削微三维结构

图 5 为用微细轴做电极,采用分层放电铣削的方法,在不锈钢材料上铣出的微三维结构照片. 图 a)是哈尔滨工业大学的缩写,槽宽为 40 μm,槽深为 50 μm,图案所占面积 420 μm×220 μm;图 b)是在本系统上用微细电火花分层铣削技术加工的微型脸谱,深度为 180 μm.



(a) 哈尔滨工业大学的缩写 (b) 微型脸谱

图 5 分层放电铣削微三维结构的 SEM 照片

2.3 微细超声加工微孔

以水混合金刚砂磨料为工作液,用微细轴电火花块电极磨削技术制备的工具,在单晶硅上加工出了直径 13 μm 的微细孔,如图 6 所示。

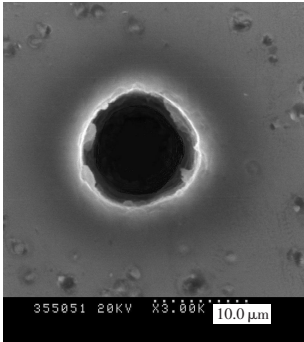


图 6 微细超声加工的微孔的 SEM 照片

2.4 微细超声-电火花复合加工异型微孔

当用电火花加工微细孔时,加工速度随着转

速的增大而增加^[11]. 当电极不旋转时,加工会因为短路而中断. 所以,单纯用电火花很难加工出异型孔来. 超声振动能够有效地消除短路,并排除加工蚀除物,冲洗工具电极上的污物,从而确保加工过程稳定^[12]. 在该系统上用微细超声-电火花复合工艺加工了微孔. 先在块电极上磨成直径100 μm 的圆柱形,再拷成三棱柱形工具电极,然后用该电极加工了三角形微孔;还用Y形截面的电极加工出了外接圆直径为500 μm 的三叶形微孔.

2.5 倒置式电火花-超声加工微细深孔

为了提高深孔加工能力,在本系统中采用工件在上、电极在下的倒置式电火花-超声复合加工模式进行了加工深孔的实验. 产生的放电蚀除物依靠重力与超声产生的泵吸联合作用,沿着微细电极和孔壁之间的间隙下落而排除孔外. 利用该工艺在3.0 mm厚的不锈钢板上加工出了直径约0.1 mm,深径比>25的微细深孔,如图7所示.

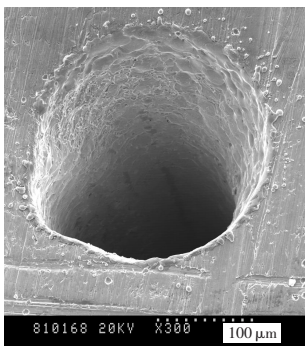


图7 $\Phi 0.1 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 的微细深孔照片

2.6 微细电解加工微细孔

在本系统上,用微细电解工艺加工了微细孔,孔的直径约为100 μm ,所用电极是用块电极电火花磨削法得到的微细轴,直径为60 μm .

3 结 论

1) 该系统集微细电火花加工、微细超声加工、微细电解加工于一身,不仅实现了在同一台设备上运行这3种工艺,而且还可以将这些工艺组合起来,进行复合加工.

2) 微细电火花加工是整个系统的基础. 所有这些微细加工工艺所用的实体工具都是用微细电火花加工出来的.

3) 在该系统上进行了几种工艺的加工实验. 用电火花工艺磨削出了 $\phi 5 \mu\text{m}$ 的微细轴,加工出了直径约为6 μm 的微细孔以及形状复杂的微结构,用倒置式电火花-超声复合工艺加工出了直

径100 μm 、深径比>25的微细深孔,还用微细超声工艺加工出了直径 $\phi 13 \mu\text{m}$ 的微细孔,用微细电解工艺加工出了 $\phi 100 \mu\text{m}$ 的微细孔.

参考文献:

- [1] YU Z Y, MASUZAWA T, FUJINO M. Micro-EDM for three-dimensional cavities [J]. Annals of the CIRP, 1998, 47(1): 169-172.
- [2] LI Yong, GUO Min, ZHOU Zhaoying, *et al.* Micro electro discharge machine with an inchworm type of micro feed mechanism [J]. Precision Engineering, 2002, 26: 7-14.
- [3] SUN X Q, MASUZAWA T, FUJINO M. Micro ultrasonic machining and self-aligned multilayer machining/assembly technologies for 3D micromachines [C]//Proceedings of the IEEE MEMS96. San Diego, California, USA: [s. n.], 1996: 312-317.
- [4] SCHUSTER R, KIRCHNER V, ALLONGUE P. Electrochemical Micromachining [J]. Science, 2000, 289: 98-101.
- [5] ZHAO W S, WANG Z L. Ultrasonic and electric discharge machining to deep and small hole on titanium alloy [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120: 101-106.
- [6] LIU Y H, JIA Z X, LIU J C. Study on hole machining of non-conducting ceramics by gas-filled electrodischarge and electrochemical compound machining [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 69: 198-202.
- [7] YEO S H, TAN L K. Effects of ultrasonic vibrations in micro electro discharge machining of microholes [J]. Micromech Microeng, 1999 (9): 345-352.
- [8] JIA B X, WANG Z L, ZHAO W S, *et al.* Research on multifunctional micro machining equipment [J]. Materials Science Forum, 2004, 471-472: 37-42.
- [9] ZHAO W S, JIA B X, WANG Z L, *et al.* Study on block electrode discharge grinding of micro rods [J]. Key Engineering Materials, 2006, 304-305: 201-205.
- [10] MASUZAWA T, FUJINO M, KOBAYASHI K. Wire electro discharge grinding for micro-machining [J]. Annals of the CIRP, 1985, 34(1): 431-434.
- [11] ZHAO W S, ZHANG Y, WANG Z L, *et al.* Research on a micro EDM equipment and its application [J]. Key Engineering Materials, 2004, 259-260: 567-573.
- [12] JIA Baoxian, WANG Dongsheng, WANG Zhenlong, *et al.* Experiment study of combining micro EDM with USM [J]. Key Engineering Materials, 2008, 375-376: 248-252.

(编辑 杨 波)