

电火花微孔加工技术的新发展 (上)

中国机械工程学会特种加工分会 (北京 100081) 王克锡

1. 前言

电火花微细加工主要是指模具、复杂零件的各种微孔、微细轴、狭窄沟槽(微小模数齿轮)等加工。

北京机床研究所早在 20 世纪 70 年代已对微细电火花加工机床进行了试验与研制,先后生产出了 NC 台式电火花微孔化纤维丝板电火花加工机床、高精度坐标微细加工机床、电子管栅网微细电火花专用加工机床,20 世纪 80 年代初又研制了国内第一台高速小孔电火花加工机床,为我国微细加工作出了应有的贡献。

随着电子器件、半导体电路、信息产业(光导通信)等方面的发展,对电火花微细加工技术和装备提出了更高的要求。

目前生产中需求最多的微小孔径为 0.1~1.0mm, $\phi 0.1\text{mm}$ 以下微孔尽管应用范围很少,但拥有较高的附加值。上述的微孔直径精度(圆度、直线度)一般皆要求 $\pm 1 \sim 2\mu\text{m}$ 以内,表面粗糙度值 $R_a < 0.02\mu\text{m}$ 。往往需要电火花成型加工与线切割加工或者激光加工与电火花成型加工相互配合,才能满足加工要求。

以往电火花加工微小孔大多情况下使用与孔径相适应的钨、铜、钼等电极丝,如喷油嘴之类的小孔加工。

其后出现了使用直径为 0.08~1.0mm 的钢管或铜钨合金管作电极,借助管内的高压水强力排屑的所谓高速电火花小孔加工。目前多数被用于要求不太高的线电极穿孔或发动机叶片的冷却孔等加工。

使用钨丝类或铜管类电极加工时,因受其尺寸、精度等方面的限制,很难满足日益增多的精密微小孔模具的加工要求。因此,电极制作已成为电火花微细加工的首要课题,另外如何进一步提高孔的加工精度与效率也是迫切需要解决的问题。

本文针对以上所述的课题及国外最新发展情况作一介绍,以供参考。

2. 电火花微细加工的应用范围

所谓微细加工,据认为凡是工件上拥有狭缝宽度或直径 $< 0.1\text{mm}$ 的型孔、沟槽、型腔等方面的加工皆称作微细加工。

就孔径而言,由于行业与加工对象不同,微孔的概念也不尽相同。

随着电火花加工性能的不断提高其应用范围正在扩大。据国外相关单位调查统计,至少已有近 50 个产业部门使用了微小孔。除电火花加工之外,还有使用切削、磨削、超声波、激光、电子束等加工方法。然而,目前应用最多的仍是电火花加工。

3. 块状电极成型法

块状电极成型法国内一般称作反拷贝电极法或反放电加工法。

如图 1、图 2 所示,它是使用长方形的块状材料(铜或铜钨)作为 1 次电极,把制作穿孔用的电极称作 2 次电极。

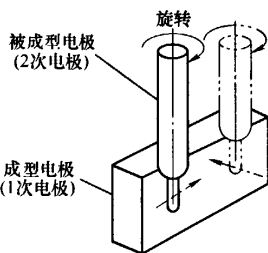


图1 块状电极成型法

这种电极加工方法,由于在线成型,无需专用的加工设备,简单易行,而且加工精度又较高,所以占多数的 $\phi 0.1 \sim \phi 1.0\text{mm}$

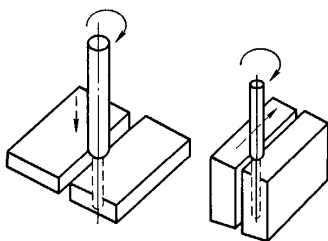


图2 狭缝式电极成型法

的孔径皆可用这种方法制作电极,目前甚至能加工出直径为 $6\mu\text{m}$ 的实用电极。国内有些单位在国产的高精度电

火花加工机上应用这种反拷的电极解决了许多以往难以加工的零件与模具,如同阀套方孔、阀心异形孔或沟槽、微细栅网、精密钻模、宇航用弹性连接器等零件,在经济上取得较大的效益。

除了简单的块状电极法之外,还有使用如图3、图4所示的反拷电极法。

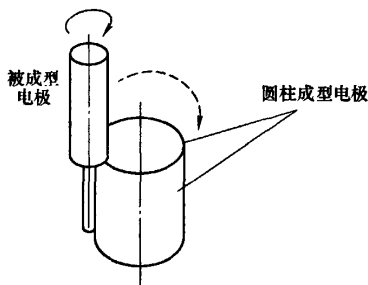


图3 圆柱轮廓法

4. 线电极磨削法 (WEDG)

如图5所示,用导丝块作导向进行走丝方式的线电极磨削法。这类似于早在20世纪50年代初期由前苏联提出的一种加工方式(见图6),当时主要被用于修磨淬火后的轴类顶尖孔。其后一直到20

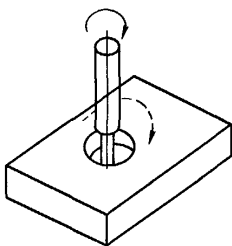


图4 圆孔轮廓法

世纪80年代初,由日本东京大学增泽隆久教授利用与此相似的导丝结构,并与相关单位合作研制了可进行微细加工的电火花电极磨床(WEDG)。从而实现了最小孔径为 $5\mu\text{m}$ 、表面粗糙度值 R_a 约 $0.02\mu\text{m}$ 的超微孔加工。另外,还可实施展成加工,如加工节圆直径为 $300\mu\text{m}$ 的微小齿轮以及直径为 $150\mu\text{m}$ 的聚晶金刚石钻头(见图7),其圆度为 $0.1\mu\text{m}$

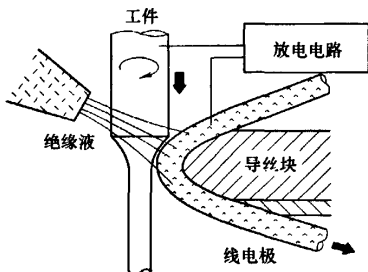


图5 线电极磨削原理图

以下,表面粗糙度值 $0.15\mu\text{m}$ 。

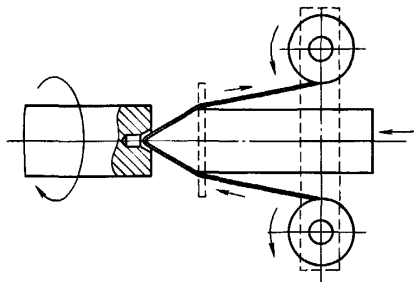


图6 用线电极磨削淬火的顶尖孔

线电极磨削法最大的优点是可以避免因电极损耗而引起误差并能加工出长径之比较大、精度更高的电极;其主要缺点是加工效率较低、电极成型时间较长。

为克服这一缺点而试制了如图8所示的串联型微细轴(电极)的连续加工系统。该系统能自动供给电极、自动在线成型,并能按照所供给的电极长度进行多孔件或批量件连续加工。不仅缩短了电极成型时间,也提高了孔的加工效率。

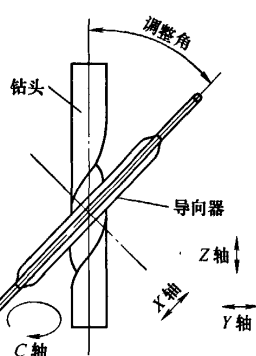


图7 利用可同时控制三轴(共四轴)的装置、加工螺旋沟槽的概念示意图

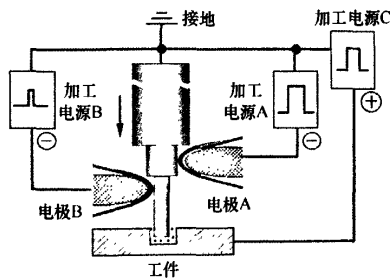


图8 串联型微细孔连续加工系统

这种串联型结构是通过两级式的线电极磨削法一边进行精加工,一边对后续部分进行粗加工。与此同时还能用第3个电源对孔实施加工。当电极伸出部产生损耗时,通过活动铅笔形的夹具及时地提供一定长度的电极

毛坯，重新成型与孔加工。

根据计算，若将电极毛坯长度设定为 500mm，去除电极的损耗与成型量之外，有可能连续加工出 5 万个孔。

表 1 为上述的块状电极反拷法与线电极磨削法优缺点的对比。

表 1 电极成型方式的对比

项 目	方 式	
	块状反拷法	线电极磨削法
成型倍率 (L/a)	△	◎
	60	81
直径精度	○	○
同轴度	◎	△
直线度	△	○
最小直径/μm	6	(4)
成型时间	◎	△
装备的成本	◎	×

注：◎：优越 ○：一般 △：稍差 ×：差 L：成型长度 d：电极直径 ()：推定值

最近，由东京都立产业技术研究所与东京农工大学等单位提出了电极与孔同时成型的加工法。

5. 微细电极与微孔同时成型的电火花加工

上述的块状电极反拷法与线电极磨削法相比，前者因电极损耗而使加工精度与长径比受到一定限制，后者虽然能实现高精度加工，但需要专用的加工装备。

电极与孔同时成型法的原理：如图 9 所示，当电极为正电（+），工件为负电（-），使电极边旋转动以比通常高数十倍的电极进给速度进行微细电火花加工时，电极的外周比中心部分能产生更多的损耗，电极端部的直径在数分钟内便可成型到数十微米、长度数百微米的针状。如图 10 所示。

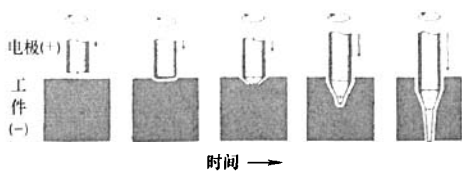


图 9 电极与孔同时微细电火花加工

随着电极成型的同时，同样形状的穿孔加工结束。以往需要多道工序的锥孔加工仅用一道工序即可加式完毕。可以认为，这是一种低成本高效率的新型电火花加工方法。

实验方法：根据表 2 所示的加工条件，通过改变主轴的进给速度、转数、空载电压、加工时间进行了微细电火花加工，还借助于显微镜对电极进行了观察。加工电源为 RC 电路（电阻与电容）。

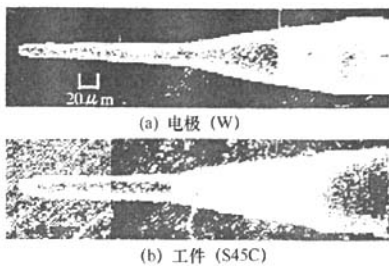


图 10 电极与孔同时加工后孔的剖面

表 2 加工条件

电极直径与材质	φ150μm（钨）
进给速度/（μm·s ⁻¹ ）	5，60，200
电容量/pF	3300，220，10
空载电压/V	10，90，7（工件接负极）
主轴转数/（r·min ⁻¹ ）	0，1500，4500，4900
加工液	油
加工时间/min	0，4，8，10，30
工件材质	S45C

实验结果：按照以上的加工条件获得了如下的结论：①关于进给速度的影响。当进给速度 5μm/s 时，电极就会产生整体性损耗，随着进给速度的加快，电极端部长度便增长，当提高到 60μm/s 时，可达到最大的长度。②关于放电能量的影响。在空载电压与电容量较小时，端部直径就会变细、长度变长。③关于电极转数。在电极不旋转的情况下，电极端部不会变细。转数为 1500r/min 时，端部直径变粗、端部长度变短，一旦转数提高到 4900r/min 时，端部直径就能变细（20μm）、端部长度变长（360μm）。④关于加工时间。电极形状随加工时间的增加，端部的角度就会变小，4min 后便逐渐形成针状；若进一步继续加工到 8min，便能形成直而细的针部，超过 8min 有若干增长，但增长速度比 8min 前慢。

另外，通过试验还清楚了电极变得细长的原因是电极上粘附的碳对电极端部影响最大。

可以想象，上述方法在尺寸精度控制方面也许比较困难。MW （待续） （收稿日期：20090825）