

基于商品机床的微细电火花成形加工 电极损耗特性研究

Electrode Wearing Characteristic in Micro-EDM Based on Commercialized Machine

南京航空航天大学机电学院 贾珂 云乃彰 陈建宁

[摘要] 分析了利用商品机床进行微细电火花成形加工研究的优势,对紫铜电极和石墨电极在微细加工中的损耗特性进行了对比试验。

关键词: 微细加工 微细电火花成形加工 电极损耗 商品机床

[ABSTRACT] The advantages of micro-EDM by commercialized machine are analyzed, and wearing characteristics of red copper electrode and graphite electrode in micro-machining are contrasted.

Keywords Micro-machining Micro-EDM Electrode wearing Commercialized machine

近年来,随着科学技术的发展,微电子、医疗器械、生物、航空、通信等领域对微细尺度产品(零件及模具)的需求日益增大,如何进行微细加工技术的深入开发及其实用化研究,加工出合格适用的微小器件,成为人们关注的热点问题。在微细加工领域,有三大基本工艺技术:以传统的集成电路制造技术为基础的硅微机械加工技术、LIGA技术和特种超精密微加工技术。

微细电火花加工技术(Micro Electrical Discharge Machining, Micro-EDM)属于特种超精密微加工技术,作为一种实用的微细加工技术,其具有加工适应范围广、设备组成与工艺技术较成熟和可实施性强等特点,在微细轴、孔加工及微三维结构成形,尤其是在难切削材料、难加工部位的加工方面已经显示出强大的技术优势及发展潜力,受到各国学者与工程技术人员的普遍关注^[1-2]。

国内在微细电火花成形加工方面进行了不少研究,但是目前大多处在试验探索阶段,基本未投入实际生产,更没有相应的商品化微细电火花成形加工专用机床问世。

国外对微细电火花成形加工的研究起步较早,如今已经进入实用阶段,微细电火花成形加工专用机床已经批量生产面市,但其高端产品一般不对我国出

口。所以,研究开发如何有效利用商品通用精密数控电火花成形机(尤其是进口的高档精密机床)加工微小器件具有很大的实用价值,对我国经济建设的发展和机电工业技术的创新有着重大意义。

1 商品电火花成形机进行微细加工研究的优势

与高等院校及科研单位自行开发的尚处于实验室阶段的电火花微细加工专用装置相比,商品机床具有明显的优势,表现在以下几个方面:

(1) 电源特性指标稳定、可靠。

商品机床的电源性能稳定、输出能量平稳、自适应调节能力强、操作便捷。加工时,稳定可靠的数字化电源能够准确输出能量,复现数据库预期的工艺指标,如放电间隙、表面粗糙度等,且电极损耗状态相当稳定,便于对损耗进行定量补偿。

自行研制的专机电源一般较多追求获取更小的单个脉冲放电能量,但是受工艺实施、元器件来源所限,抗干扰能力及热稳定性相对较差,对电源性能影响较大,输出参数不够稳定,常随工作时间增加或负载的变化而漂移,很难准确控制加工精度及表面粗糙度。

(2) 机械传动机构精度高、运动控制能力强、过程稳定性好。

商品机床轴运动系统软硬件均采用了多种先进技术,出厂时经过严格检验,运动精度、重复精度都有保障,使用寿命长,精度保持性好;而自制装置虽然有时能达到较高的运动精度,但其重复精度、使用寿命往往难尽人意。

(3) 加工状态检测系统完善、伺服机构性能好。

先进商品机床的伺服系统一般采取全闭环控制方式,拥有完善的加工间隙状态检测环节,能适应多种工艺类型,保证加工状态的稳定性。

(4) 装夹系统精度高。

商品机床多半直接选用3R、EROWA等高精度专业夹具系统,极大地减小了在电极装夹、定位等环节

上的误差,保证了安装定位精度;操作方便,减少了工艺辅助时间。

(5)功能强大的数控系统,多样的控制策略,丰富的工艺数据库。

商品机床的这些功能,使其能够面向多种对象,顺利解决加工中可能出现的复杂问题;提供丰富的优化工艺参数供用户自主选择,以保证获得理想的工艺指标,这正是自制装置难以完全具备的。

以上这些特点,决定了利用商品机床进行微细加工具有更可靠的过程稳定性和工艺指标可重复性,体现了其强大的实用价值。

2 微细加工中的电极损耗

微细电火花成形加工的原理与普通电火花成形加工并无本质区别:

(1)其加工速度、工件表面粗糙度亦取决于电蚀凹坑的直径和深度,即由单个放电脉冲能量的大小所定;

(2)加工精度则与电极损耗、伺服稳定性等因素密切相关;

(3)鉴于微细加工的材料绝对去除量很少,此时,加工速度可作为次要指标考虑。

要实现微细加工,必须使用微细工具电极,放电面积可能很小,放电点过于集中在电极的尖角棱边,将加剧在该处的局部电极损耗掉,从而影响加工精度^[3]。

为了保持较理想的加工精度,尽可能减小电极损耗是根本的途径。不过,选定商品机床中提供微细加工的最小电规准后,参数几乎没有下调的余地。在微细加工中,只能寻求选择低损耗的电极材料,或者利用特殊工艺方法降低电极损耗。

紫铜和石墨是电火花成形加工中经常用到的电极材料,在国内,石墨电极材料的应用还相对有限,为了探索这两种材料在微细加工中的损耗特性,我们在瑞士夏米尔 Roboform 35 电火花成形机上进行了以下试验。

第一组试验中,电极材料为:美国某石墨公司 3 种型号的石墨电极,分别称为 EDM-1、EDM-2、EDM-3;日本某碳素公司的一种石墨电极,称为 EDM-4;国产普通紫铜和进口紫铜电极。试件为 45# 钢,截面直径为 $\phi 30\text{mm}$ 。试验均采用正极性加工(意在重点考察精规准时的电极损耗,对微细加工更有意义),在粗、中、精 3 个规准下进行,主要电参数如表 1 所示。

表 1 第一组试验主要电参数

电极材质	紫 铜			石 墨		
	粗规准	中规准	精规准	粗规准	中规准	精规准
加工电压/V	160	160	160	160	160	160
峰值电流/A	6	3	2	6	3	4
脉宽/ μs	200	100	100	100	50	3.2
脉间/ μs	100	100	100	50	25	12.8

试验中,利用片状电极(厚 1mm,宽 10mm)在工件上进行开槽加工。通过称量试验前后工件和电极的质量,得到加工去除量和电极损耗量,同时记录加工时间,以此计算加工速度、电极损耗速度和电极相对损耗。

从图 1 中可以看出,紫铜电极在粗、中、精 3 种规准下,均表现出了优异的综合性能,其加工速度快,电极损耗低,能够满足微细加工的普遍要求;不同型号的石墨电极材料表现出了不同的性能。

EDM-1 石墨电极,粗加工速度最快,但其损耗也最大,对于微细粗加工来说是不错的选择,但不适合用于微细精加工。

EDM-3 石墨电极,加工中出现负损耗现象(电极质量在加工后较加工前略有增加),观察发现是电极表面在加工中形成碳黑膜,不仅仅保护电极降低了损耗,还造成了电极质量的微量增加,说明此类电极材料在试验条件下的微细加工中损耗非常小。这一现象与通常认为的碳黑膜覆盖效应易发生在负极性加工中不符,如何解释还有待于专题研究,如石墨、工作液、电规准在这种微细加工环境起着什么作用,发生了何种变化。

EDM-2 和 EDM-4 两个型号的石墨电极表现出与 EDM-3 相近的性能。它们的电极损耗性能毫不逊色甚至略优于紫铜电极,也能够很好地适应微细电火花成形加工的要求。

第二组试验,继而选取第一组试验中性能优异的 EDM-2 石墨电极和进口紫铜电极进行对比。电极尺寸改为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$,达到微细加工状态,电规准如表 2 所示,经计算得知,此电规准单个脉冲放电能量为 $7.58 \times 10^{-6}\text{J}$,而一般认为要达到亚微米级加工精度,单

表 2 第二组试验主要电参数

加工电压/V	峰值电流/A	脉宽/ μs	脉间/ μs
200	0.5	0.8	6.4

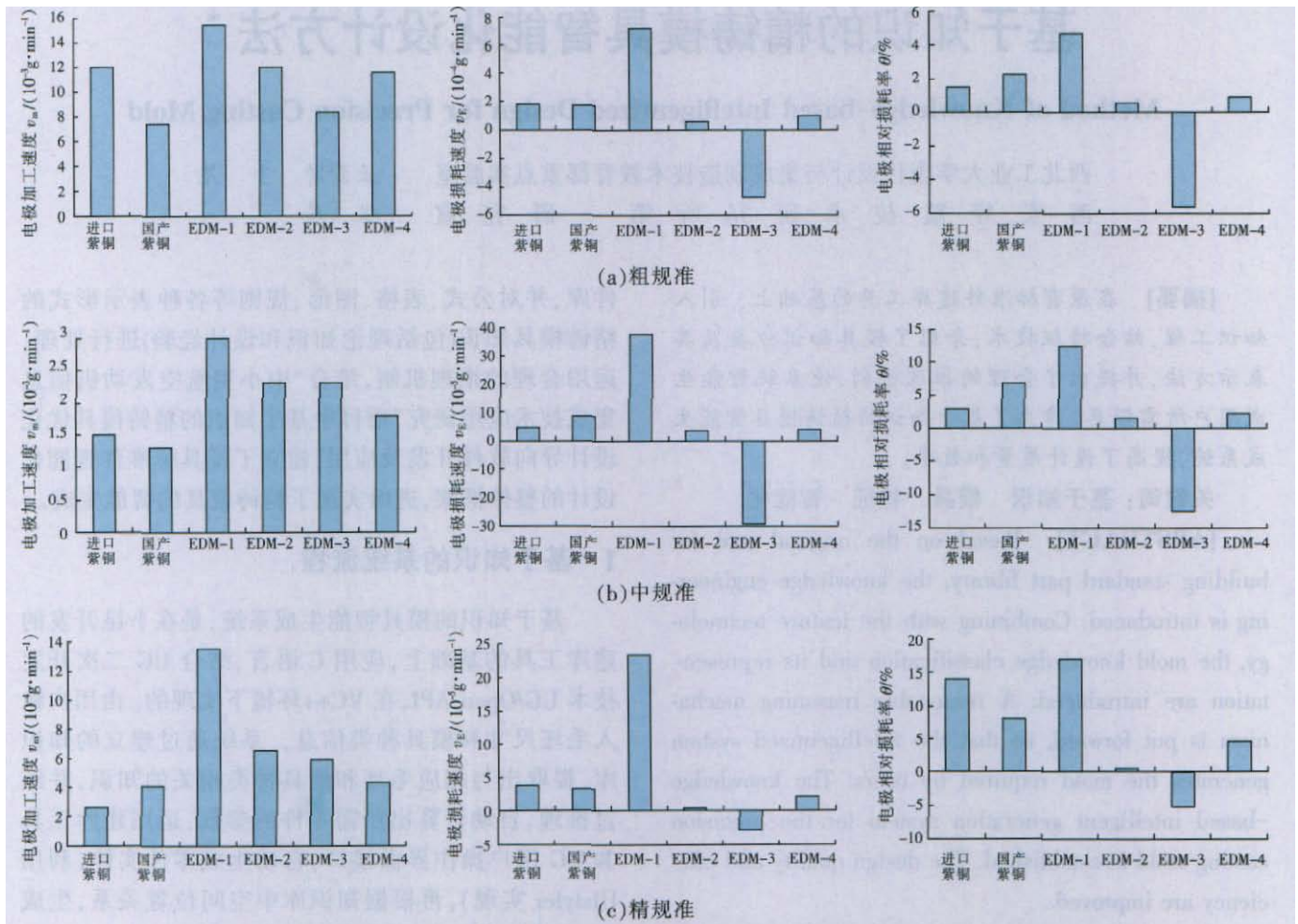


图 1 粗规准、中规准和精规准下各类电极加工速度、损耗速度和相对损耗率对比

Fig.1 Comparisons of material removal rate, electrode wear rate, relative electrode wear ratio of different electrodes in rough machining, middle finish machining and finish machining

个放电脉冲能量应在 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{J}$ 数量级之间,因此可以认为此电规准在微细加工范围内。试验结果见表3。

与第一组试验结果对比可知,在电极尺寸大为减小的情况下,紫铜电极的损耗速度虽然有所增大,但其相对损耗却没有增加,再次证明紫铜电极适用于微细电火花加工。而石墨电极在当前试验条件下,还是出现了负损耗现象,说明此种石墨电极出现负损耗的情况并非偶然现象。如何利用石墨电极在微细加工中

的负损耗现象提高加工精度、降低电极损耗,还有待进一步研究。

通过与机床所附的表面粗糙度等级样板对比,结果显示:EDM-2、EDM-3、EDM-4 石墨电极加工所获得的表面粗糙度与紫铜电极加工在同一等级,效果不差;而 EDM-1 加工的试件表面粗糙度要低一个等级。

3 石墨电极的应用前景

国内,石墨作为电火花电极材料的普遍应用还十分有限,主要原因是以往国产石墨受粉体大小及压制工艺限制是各向异性的,电极制作要受压延方向制约;尖角边缘处易崩缺,很难精确加工到预定形状尺寸。而进口电火花加工专用石墨各向同性,质地非常细密(粉体颗粒大小已有近纳米的趋势),采用切削方

(下转第 88 页)

表 3 第二组试验结果

电极材质	石墨	紫铜
加工速度 $v_m / (10^{-4} \text{g} \cdot \text{min}^{-1})$	3.5	6.4
损耗速度 $v_E / (10^{-5} \text{g} \cdot \text{min}^{-1})$	-6.3	7.3
相对损耗率 /%	-18	11.3

3 结论

本文阐述了实现图形自动生成技术的基础条件, 简要介绍了基于 Web 的大规模定制系统结构, 并构建了大规模定制的图形自动生成技术系统框架。该方法已经在模具行业得到验证, 用户在登录模具制造商的网站后, 根据模具的定制流程, 选择模架的结构, 设置所有模架零部件的参数。用户定制完成后, 一经确认, 图形自动生成程序即正确地生成完整的模架装配图形。图 5 是模架定制图形生成系统自动生成的模具装配图的俯视图, 本图按富得巴(香港)有限公司的要求开发。

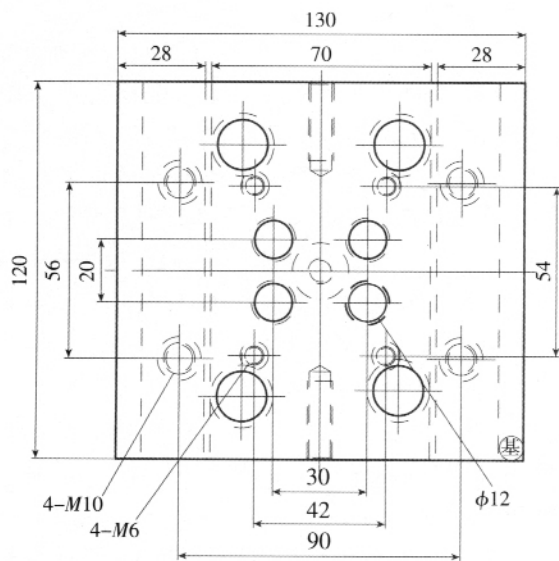


图 5 定制系统自动生成的模架装配图

Fig.5 Dies support assembly drawing automatically generated by customization system

参 考 文 献

[1] 贺可太, 雷毅, 黄松波, 等. 基于 Web 定制的模架智能 CAD 系统. 中国机械工程, 2003, 14(11): 940-942.
 [2] 余思佳, 雷毅, 闫光荣. 家电产品的设计数字化解决方案. 家电科技, 2004(4): 49-53.
 [3] 余思佳, 雷毅, 闫光荣, 等. 三维 CAD 环境中基于 COM 技术的产品模块化设计技术研究. 数字化设计与制造学术会议论文集, 2003: 81-87.
 [4] 贺可太, 申端春, 徐淑琼. 基于 Internet 零件库的大规模定制系统研究. 航空制造技术, 2004(7): 83-85.
 [5] 王平, 詹俊峰. 支持网络信息共享的标准零件库. 世界标准化与质量管理, 2001, 10: 30-31.
 [6] 贺可太. 大规模定制系统的图形自动生成技术研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 2005. (责编 钟元)

(上接第 81 页)

式制备电极及使用中的抗电蚀性能均十分优越。虽然进口石墨电极材料价格较高, 但密度远低于紫铜, 使用石墨制作电极, 尤其在大型、中空、微小电极制备场合, 其实际成本显然低于紫铜。

石墨损耗特性优于紫铜, 能作为微细电火花成形加工电极材料, 是由自身性能决定的。石墨熔点为 3 727 (铜的熔点为 1 083), 沸点为 4 830 (铜的沸点为 2 595), 都远远优于铜, 比热容高, 导热性较好, 抗电蚀能力强, 使得在一定放电条件下的损耗特性优于铜。

新型石墨的机械加工性能好, 修整容易。石墨的切削抗力仅为铜的 1/4, 因此切削加工时去除速度可以比铜快, 电极制作效率高; 新型石墨强度也很高, 对于超高 (50mm-90mm)、超薄 (0.2mm-0.5mm) 的电极, 加工时不易变形; 机械加工后不用手工修整, 而铜电极多半还需要手工去除毛刺。

石墨的这些典型优点使它在国外普通放电加工中得到了广泛的应用。在日本和欧洲, 紫铜电极和石墨电极的应用比为 3:7, 在美国则为 1:9^[4-5]。尽管国内目前对石墨电极的应用相当有限, 但是应该看到, 石墨电极应具有较好的应用前景, 特别是在微细加工领域。

4 结束语

相比于实验室自制装置, 商品机床在微细电火花成形加工的研究及实用中具有显著优势, 更富有技术经济价值。理论上, 石墨有作为电火花微细加工的优越性; 在本文的试验条件下, 某些石墨材料在微细电火花成形加工中表现出了奇特的性能, 其价格也比紫铜便宜, 应该认为, 石墨电极在国内具有较强的推广潜力。

参 考 文 献

[1] Pham D T, Dimov S S, Bigot S, et al. Micro-EDM—recent developments and research issues. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 149: 50-57.
 [2] 王振龙, 赵万生. 微制造系统中的微细电火花加工技术. 制造技术与机床, 2003, 9: 23-27.
 [3] 赵万生. 先进电火花加工技术. 北京: 国防工业出版社, 2003.
 [4] 武云霞, 王成勇, 詹国彬, 等. 石墨电极的电加工性能. 模具工业, 2004, 12: 51-55.
 [5] 詹国彬. 电加工用石墨电极的选用和加工. 炭素技术, 1998, 4: 32-36. (责编 金卯)