

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.013

石墨电极在线修复加工条件参数的实验研究

李 矢, 朱新宾

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为了解决电火花加工成型电极在线修复问题,基于已有电火花加工机床的加工条件参数,提出了石墨电极在线逆向加工的修复方法。首先根据电火花加工经验设计了加工条件参数的逆向加工实验方案,然后针对不同的放电时间、放电休止时间、峰值电流、辅助回路、伺服速度等主要条件参数进行了电极逆向加工实验,从而得到了它们对石墨电极融蚀的影响,并通过分析与归纳,总结出了石墨电极在线逆向加工所需条件参数,最后通过逆向加工修复和逆向加工制作石墨电极对这些加工条件参数进行了验证。实验研究结果表明,在现有电火花加工机床上通过选择合适的加工条件和参数,在线逆向加工修复石墨电极的方法是可行而且高效的。

关键词:石墨电极;在线修复;加工条件参数;电火花加工

中图分类号: TG661; TH145.13

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)03-0362-04

Experimental study on machining conditions and parameters for graphite electrode online repairing

LI Shi, ZHU Xin-bin

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to solve the problem of graphite electrode online repairing in electrical discharge machining (EDM), the graphite electrode online repairing method by reverse processing was proposed based on the machining conditions and parameters of existing electrical discharge machine tools. Reverse processing experiment scheme of the conditions and parameters was designed according to the electrical discharge machining experience, and then the electrode reverse processing experiments were carried out at different conditions and parameters of discharge on time, discharge off time, peak current, auxiliary circuit, servo speed, thus the influences of their erosion to graphite electrodes were obtained, and through analysis and induction, the conditions and parameters for the graphite electrode online reverse processing were summarized, and finally the conditions and parameters were validated by the reverse repairing and reverse processing graphite electrodes. The experimental results show that the method of online reverse repairing graphite electrodes is feasible and efficient by selecting suitable processing conditions and parameters in the existing EDM machine tools.

Key words: graphite electrode; online repairing; machining conditions and parameters; electrosparking

0 引 言

电火花成形加工是重要的电加工方法之一,复杂型腔的电极制作、装卡调试不易,电极在加工过程中的损耗直接影响其加工精度和经济效益。目前,国内电火花加工用最为普遍的电极材料是石墨和铜材两大类。电极反拷是常用的电极制备和在线修复手段^[1-3],国内已有许多电加工机床采用专家系统以优化电火花

加工条件参数,但没有配置专门的石墨电极反拷加工条件参数。Mizugaki, Y. 在文献[4]中研究了圆柱石墨电极在线测量和修整的方法,国内尚未见该方面研究的成果。该实验研究的目的是在现有的设备上找出适用的加工条件参数,为在线修复石墨电极加工条件参数的优化提供依据,也是更好地使用石墨电极的需要。

本研究基于已有的电火花加工机床的加工条件参数,提出石墨电极在线修复方法。

1 实验条件

实验研究的基本条件是:电极直径为 10 mm 的 ISO-63 材料;试件材料是 45#调质钢;实验电火花成型机床是汉川 HCD400K;机床电源型号是 MD20D;工作液是煤油。

由于机床带有专家工艺数据库系统,提供了逆加工紫铜电极加工条件参数^[5],考虑紫铜和石墨两种材料放电参数的差异^[6-8]和电极修复的特点,本研究以石墨电极为 PL + ,试件为 PL - ,电极面积固定,20 min 定时加工,无摇动状态实验不同的加工条件参数,测量电极和试件融蚀长度,计算、对比,以期得到适用石墨电极逆加工条件参数。

2 实验的步骤

2.1 计算方法

在实验中,电极损耗及加工速度计算如下:

电极损耗 Q_L :

$$Q_L = \frac{L_{eh}}{L_{wh}}$$

式中: L_{eh} —电极单位时间损耗长度, L_{wh} —工件单位时间蚀除长度。

加工速度 V_w :

$$V_w = S \times \frac{L_{eh}}{T}$$

式中: S —电极面积, mm^2 ; T —加工时间, min 。

2.2 主要条件参数的影响

2.2.1 放电时间(ON)的影响

放电时间实验条件及电极和反铸块的测量结果如表 1 所示,改变放电时间(ON),其影响如图 1 所示。放电时间实验条件及结果如表 1 所示。表 1 中参数代号含义如表 7 所示。

表 1 放电时间实验条件及结果 单位:mm

	ON	OFF	MAO	IP	SV	V	HP	电极	试件
A 组	001	030	03	0 000	5	01	017	0.17	0.02
	002	030	03	0 000	5	01	017	0.37	0.15
	003	030	03	0 000	5	01	017	0.25	0.21
	004	030	03	0 000	5	01	017	0.3	0.35
B 组	001	031	01	0 550	3	02	031	0.58	0.1
	002	031	01	0 550	3	02	031	0.65	0.13
	003	031	01	0 550	3	02	031	0.88	0.37
	004	031	01	0 550	3	02	031	0.46	0.38
	005	031	01	0 550	3	02	031	0.6	1.43

放电时间是加到电极和工件上放电间隙两端的一个电压脉冲的持续时间。放电时间和峰值电流是电火

花加工基本的加工条件参数,放电时间和峰值电流决定脉冲能量。放电时间影响如图 1 所示。

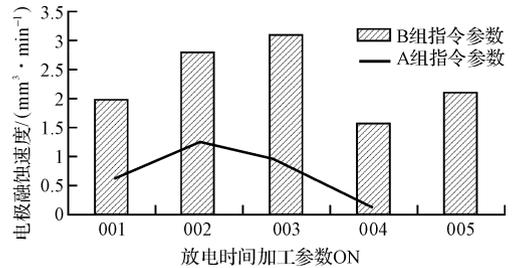


图 1 放电时间的影响

随着放电时间增加,电极融蚀增加,当放电时间大于 4 μs 时,试件损耗加大,融蚀比减小,A 组实验加工条件参数只有电容回路工作,电极融蚀速度随着放电时间的增加而增大,B 组实验加工条件参数采用中压回路加高压辅助,两组实验显示:放电时间影响电极的融蚀速度。但当放电时间长、脉冲能量较大、放电通道的形成比较集中而分布不均匀时,在电极和试件会表面烧蚀,融蚀不稳定,融蚀比减少,电极形状不确定性增加。

2.2.2 放电休止时间(OFF)的影响

放电休止时间实验条件及电极和反铸块的测量结果如表 2 所示,改变放休止电时间(OFF),其影响如图 2 所示。

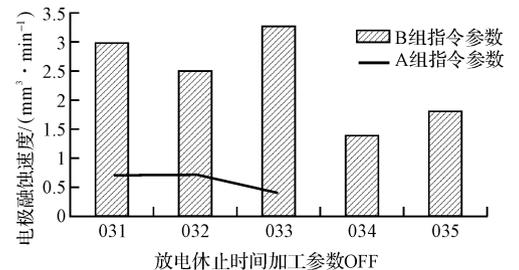


图 2 放电休止时间的影响

加工条件参数 MA (放电休止脉冲宽度的调整)也影响放电休止时间。实际的放电脉冲休止时间 = OFF \times (MA + 1)。

由图 2 中两组实验数据看出:在峰值电流一定的情况下,放电休止时间不仅影响融蚀速度的快慢,而且影响加工稳定性。实验中 A 组实验加工条件参数设定 OFF030,B 组实验加工条件参数设定 OFF031 和 OFF032,融蚀电极端面平整,能保证电极的形状,其他均出现电极端面烧蚀或不平整。实验加工条件参数已经避免放电停止设定数值小,极间介质的消电离比较充分,有利于在试件上形成覆盖层,使电极修复质量有保障。当放电停止时间增大超过一定极限,电极和试件表面冷却的时间过长,下一个脉冲就需要更多的能

量形成放电通道,并且不利于覆盖层的形成,电极损耗反而有增加的趋势,电极各部分的损耗也会由于放电通道的形成比较集中而分布不均匀,在电极端面形成凸凹点,改变试件的形状,影响最终电极形状。

表 2 放电休止时间实验条件及结果 单位:mm

	ON	OFF	MAO	IP	SV	V	HP	电极	试件
A 组	002	030	03	0 000	5	01	017	0.35	0.18
	002	031	03	0 000	5	01	017	0.21	0.17
	002	032	03	0 000	5	01	017	0.2	0.11
	002	033	03	0 000	5	01	017	0.11	0.08
B 组	003	031	01	0 550	3	02	031	0.86	0.67
	003	032	01	0 550	3	02	031	0.72	0.63
	003	033	01	0 550	3	02	031	0.64	0.52
	003	034	01	0 550	3	02	031	0.4	0.1
	003	035	01	0 550	3	02	031	0.52	0.15

2.2.3 峰值电流(IP)与辅助回路(HP)影响

该部分实验条件及结果分别如表 3~5 所示,改变对应参数,其影响分别如图 3、图 4 所示。

表 3 电容回路实验条件及结果 单位:mm

ON	OFF	MAO	IP	V	PP	C	HP	电极	试件
001	030	03	0 000	01	10	01	010	0.05	0.02
001	030	03	0 000	01	10	01	012	0.11	0.03
001	030	03	0 000	01	10	02	015	0.22	0.06
001	030	03	0 000	01	10	03	017	0.27	0.11
001	030	03	0 150	01	10	04	032	0.15	0.05

表 4 中压回路实验条件及结果 单位:mm

ON	OFF	MAO	IP	V	HP	PP	C	电极	试件
002	031	01	0 025	02	031	10	05	0.05	0.02
002	031	01	0 050	02	031	10	05	0.11	0.03
002	031	01	0 120	02	031	10	05	0.22	0.06
002	031	01	0 180	02	031	10	05	0.27	0.11

表 5 峰值电流实验条件及结果 单位:mm

ON	OFF	MAO	IP	V	PP	C	电极	试件
003	030	0 000	050	02	00	00	0.11	0.18
A 组	003	030	0 000	100	02	00	0.25	0.69
	003	030	0 000	150	02	00	0.19	1.01
	003	030	0 000	300	02	00	0.4	4.76
B 组	003	030	0 000	050	02	00	0.01	0.18
	003	030	0 000	100	02	00	0.01	0.15
	003	030	0 000	150	02	00	0.11	0.17
	003	030	0 000	300	02	00	0.16	1.4

从多组实验数据可以看出,产生电极融蚀有多方面的原因,峰值电流和辅助回路两种加工条件参数相辅相成,峰值电流影响放电加工的融蚀速度,辅助回路是针对不同的加工工艺设定。在反拷石墨电极加工时,粗加工可用中压回路+高压辅助(HP031、032),优选是电容回路+高压辅助(HP01)。

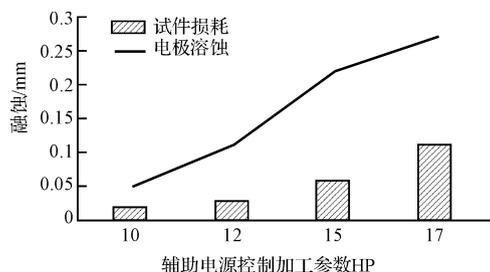


图 3 电容回路 + 高压辅助的影响

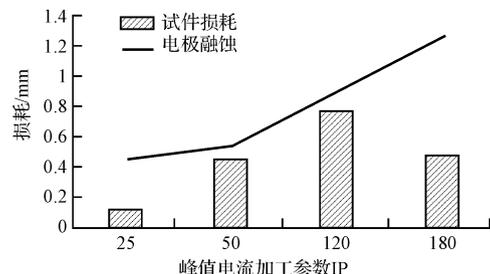


图 4 中压回路 + 高压辅助的影响

在实验中,在电流小于 0.5 A 时,电极端面完整复制出试件表面的加工刀纹。随着放电电流的增加,石墨电极端面的质量下降,反拷加工时不易采用大电流。

2.2.4 伺服速度(S)的影响

实验条件参数如表 6 所示,通过改变伺服速度,其影响如图 5 所示。

表 6 伺服速度实验条件及结果 单位:mm

ON	OFF	MA	IP	SV	HP	PP	S	电极	试件
002	031	01	0 100	03	031	10	01	0.49	0.06
002	031	01	0 100	03	031	10	03	0.68	0.08
002	031	01	0 100	03	031	10	05	0.69	0.23
002	031	01	0 100	03	031	10	07	0.82	0.21

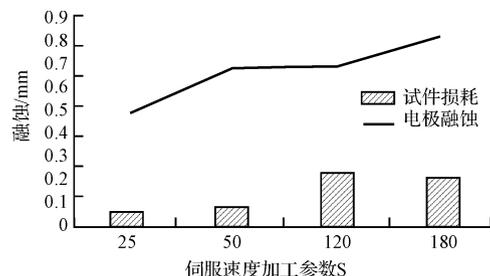


图 5 伺服速度 S 的影响

实验中,在其他加工条件参数不变的情况下,随着条件参数伺服速度 S 数值的增加,伺服速度减慢,相应地增加了放电时间,电极端面的不平度增加,加工条件参数设定 S05,电极端面不平度有 0.02 mm~0.03 mm,加工条件参数设定 S07 电极端面出现局部尖点。

3 石墨电极在线修复条件参数选择

根据实验结果,笔者总结出的石墨电极成型加工

条件参数表如表 7 所示。采用加工条件 C820 在线修复斜端面(3°)电极的示意图如图 6 所示,电极直径 10 mm,Z 向深度 -0.5 mm,y 轴直线向进给 15 mm,修

复后,电极端面与试块平行度小于 0.002 mm。移动工作台离开反拷块到模具,z 向对刀加工,减少了电极装卡的调试时间,提高了加工效率。

表 7 石墨电极成型加工条件参数表

条件	ON	OFF	MA	IP	SV	UP	DN	PL	V	HP	PP	C	S	加工性能	
	放电脉冲时间	放电休止时间	放电休止时间调整	主电源低电压电流峰值	伺服基准电压	跳度上升时间	跳度放电时间	Z 轴极性	主电源电压	辅助电源回路控制	电流回路脉冲电流波形控制	极间电容回路	伺服速度	$V_w / (mm^3 \cdot min^{-1})$	Q_t
C640	002	031	01	0 180	03	1	3	0 +	02	031	10	06	02	4.48	3.28
C630	002	031	01	0 120	03	1	3	0 +	02	031	10	05	02	3.08	3.52
C850	002	031	03	0 100	05	3	4	0 +	01	012	10	06	03	1.75	3.85
C610	002	030	01	0 025	03	1	3	0 +	02	031	10	05	02	1.58	4.01
C820	001	030	03	0 000	05	2	4	0 +	01	015	10	02	03	0.77	3.67
C810	001	030	03	0 000	05	3	3	0 +	01	012	10	01	03	0.39	3.67
C800	001	030	03	0 000	05	2	4	0 +	01	010	10	01	03	0.18	2.5

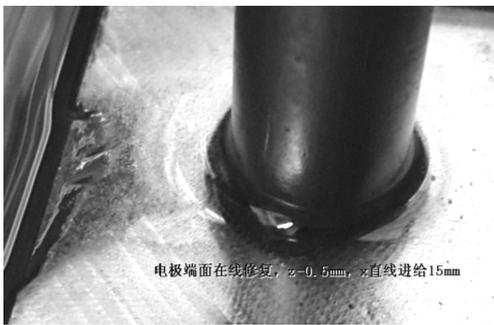


图 6 在线电极修复

本研究采用加工条件 C850,反拷加工的石墨电极如图 7 所示,时间 1 h,电极融蚀深度 4.11 mm,反拷块损耗 0.84 mm,比反拷加工紫铜电极效率提高了 5 倍。



图 7 反拷制作石墨电极

4 结束语

通过上述实验研究表明,在汉川 HCD400K 机床上,直接调用专家工艺数据库系统现有加工条件参数在线修复或制作石墨电极都是可行的。粗加工峰值电

流不宜超过 4 A,放电休止实际时间($OFF \times (MA + 1)$)不要大于 15 μs ,端面的不平整度有保证,电极端面粗糙度不仅需要小电流,而且取决于反拷块的粗糙度。

参考文献 (References):

- [1] 梅阳寒. 一种微小孔电火花加工模糊控制策略研究[J]. 机电工程,2012,29(9):1061-1064.
- [2] 王可锡. 电火花反拷电极的加工实例[J]. 金属加工,2010(21):58-60.
- [3] 韩桂海,于炳亮,郭钟宁. 电极在线加工技术[J]. 山东科学,2006(10):69-72.
- [4] MIZUGAKI Y. Contouring Electrical Discharge Machining with on-machine Measuring and Dressing of a Cylindrical Graphite Electrode [C] //Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation,1996:1514-1517.
- [5] 汉川机床集团公司. CNC 电源装置加工条件设定说明书[Z]. 汉川:汉川机床集团公司,2007.
- [6] 杨晓欣,蒋文英. 电火花加工用主流电极材料(石墨-铜)的放电性能对比分析研究[C]//第 13 届全国特种加工学术会议论文集. 北京:中国机械工程学会,2009:205-210.
- [7] 尹青峰,王宝瑞,李建原. 电火花加工电极间隙电场分析研究[J]. 机械,2013(1):27-31.
- [8] 杨大勇,付伟. A 型精密数控电火花成形加工机床及其应用[J]. 航空制造技术,2009(5):57-60.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

李 矢,朱新宾. 石墨电极在线修复加工条件参数的实验研究[J]. 机电工程,2015,32(3):362-365.

LI Shi, ZHU Xin-bin. Experimental study on machining conditions and parameters for graphite electrode online repairing[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(3):362-365.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>