

电火花成型加工 LD 钢工艺优化方法*

江 开 勇

(华侨大学精密机械工程系, 泉州 362011)

摘要 采用分步加工技术, 探索电火花成型加工新型模具钢 7Cr7Mo3V2Si(代号 LD)的表面成型规律. 在此基础上, 建立求解加工参数最佳切换点的数学模型.

关键词 电火花成型, LD 钢, 分步加工技术

分类号 TG 661

工件表面粗糙度低、电极相对损耗小和加工速度快, 是电火花成型加工工艺参数的优化目标. 根据电火花成型加工的一般规律^[1], 在粗加工时, 电极损耗可控制在很小的范围内, 甚至可达到无损耗加工, 且加工速度快, 但工件表面粗糙度高. 在精加工时, 可大大降低工件表面粗糙度, 然而电极损耗大, 加工速度慢. 从加工工艺上解决这一矛盾的最佳途径, 应当是采用分步加工的方法. 即先采用粗规准加工, 在较短的时间内, 以较低的电极损耗(甚至无损耗)的条件除去大部分加工余量, 再逐步采用由粗到精的加工规准, 除去很小一部分加工余量, 达到修光工件表面的目的. 由于加工余量小, 电极的绝对损耗可控制在很小的范围内. 分步加工既能达到修光工件表面的目的, 又能大大减小电极损耗, 已被操作者所广泛接受. 然而, 采用分步加工时, 各道加工工序的加工余量应取多少, 如何组合, 才能达到最佳的综合工艺效果? 有关这方面的研究尚未见报道, 操作者都是凭经验而定. 基于此, 本文结合 LD 钢加工参数优化研究的课题, 以 LD 钢为加工对象, 设计一组试验方案. 首先考察电火花成型加工过程中, 工件表面粗糙度随加工深度递进的变化规律, 然后采用回归技术, 得到工件表面粗糙度与加工深度之间关系的数学表达式. 利用这组表达式, 建立起求解加工参数最佳切换点的数学模型.

1 试验条件

试验用的机床为汉川机床厂 HCD 300 型电火花成型加工机床, 工件材料为 LD 钢, 经过 1 100 °C 淬火, 在 550 °C 下三次回火, 每次回火时间 1 h, 硬度 HRC60~61. 电极为 $\varnothing 25$ 的紫铜棒; 工作液为煤油. 测试用仪器有 SM-3 型表面粗糙度测定仪; CS-1575 型 5MHZ 示波器.

2 试验安排

试验安排的指导思想是, 不拘泥于研究工艺指标与电脉冲参数间的工艺规律, 而是根据已

* 本文 1995-10-28 收到; 福建省自然科学基金资助项目

有的研究基础^[2],并依据操作者的实际经验,选择一组由粗加工到精加工,直至修光过程的典型加工参数,如表 1 所示。

表中 t_i 为脉宽, t_0 为脉间, n_L 为低压管数, n_H 为高压管数, I 为实测平均电流。首先进行单步试验考察每种加工参数的各项工艺指标,并给予足够的加工余量。每种加工参数的加工深度均取 2 mm。其次采用分步加工,考察每种加工参数的表面平整规律。这里先把所有试件粗加工成表面粗糙度基本一致的初始表面($R_a \approx 10.94 \mu\text{m}$),然后对于每种加工参数,依次取加工深度(l)分别为 0.04 mm, 0.08 mm, 0.12 mm, 0.16 mm, 0.20 mm。分别测出不同加工深度的工件表面粗糙度指标。应用回归技术,求出对应于不同的加工参数,工件表面粗糙度与加工深度之间关系的数学模型。

表 1 典型加工参数组

序号	$t_i/\mu\text{s}$	$t_0/\mu\text{s}$	n_L	n_H	$I/\text{A}^{①}$
1	200	36	7	1	10
2	120	36	5	1	8
3	70	36	4	1	6
4	40	28	3	1	2.5
5	13	20	2	1	1.5
6	6	14	1	1	0.8

① 加工面积为 490 mm^2

3 试验结果与分析

如前所述,首先通过单步试验考察每种加工参数的工艺指标。试验结果如图 1 所示,图中 R_a 为表面粗糙度, θ 为电极相对损耗, V_w 为加工速度。图 1 还反映了不同加工参数的工艺指标变化趋势。由图 1 显见,加工规范变小,工件表面粗糙度变低,电极相对损耗指标变大,加工效率也大大下降。通过单步试验,得到各种加工参数的电极相对损耗指标、加工速度指标和表面粗糙度的极限指标。为了得到各种加工参数的成型规律,即工件表面粗糙度随加工深度递进的变化规律,按照前面的试验安排,需要进行分步加工试验。图 2 为分步加工试验结果,从中反映了表面粗糙度变化趋势。

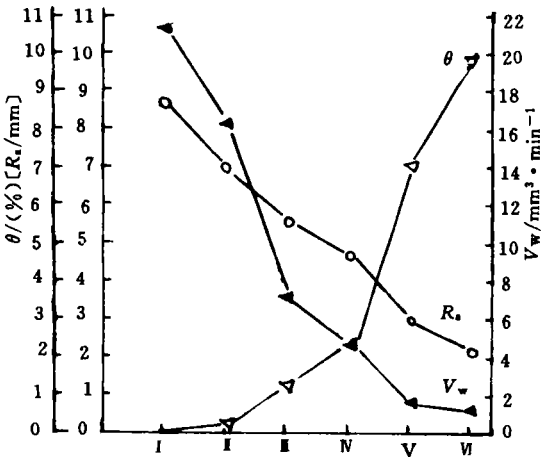


图 1 工艺指标变化趋势图

由图 2 可知,随着加工深度增加,工件表面粗糙度逐渐变小。也就是说,工件表面的形貌是一个渐序变化的过程。我们进而考察每种加工参数各自的成型规律,并作比较,可以发现,中粗加工时(图 2 曲线 1,2),经过约 0.04 mm 的整平加工,工件表面粗糙度基本达到稳定值;继续增加加工深度,已经失去意义,只能延长加工时间,增加电极损耗。在中精加工时(图 2 曲线 3,4,5),工件表面的整平过程大约在 0.08 mm 以内完成。在精加工(或认为是修光加工)时,整平过程所需的时间较长,要达到或接近极限粗糙度指标,加工深度应不小于 0.12 mm。

图 2 同样说明这样一个事实,为了达到修光工件表面的目的,可以采用不同的工艺路径。比如,可以直接采用第 6 种加工参数进行修光,假定加工深度取 0.12 mm 这时工件表面粗糙度指标可以达到 $R_a = 2.75 \mu\text{m}$,绝对电极线损耗 $V_l = 0.098 \times 0.12 \approx 0.92 \text{ (mm)}$,加工时间 $t =$

$490 \times 0.12 / 1.2 = 49(\text{min})$. 也可以先采用第 2 种加工参数加工至深度为 0.08 mm , 然后采用第 6 种加工参数修光 0.04 mm . 由图 2 不难预料, 尽管总的加工深度同样为 0.12 mm 采用后一种切换加工的方法, 表面粗糙度指标会比前一种直接采用第 6 种加工参数进行修光好, 而且这时电极的绝对线损耗为 $V_l = 0.0025 \times 0.08 + 0.098 \times 0.04 \approx 0.04(\text{mm})$, 加工时间 $t = 490 \times 0.08 / 16.3 + 490 \times 0.04 / 1.2 \approx 19(\text{min})$. 显然, 采用参数切换的分步加工方法, 综合工艺指标要好得多. 因此, 本文提出了所谓加工参数最佳切换问题.

为了能够采用数学方法解决加工参数最佳切换问题, 下面将对图 2 所示的每种加工参数对应的修光规律分别作回归分析, 求出各自的解析模型.

根据图 2 的曲线形状, 这里采用指数回归模型, 取

$$R_s = Ce^{-al}, \tag{1}$$

其中 R_s 为工件表面粗糙度(μm); C, a 为待定常数; l 为加工深度 (mm).

式(1)可以转化为线性模型:

$$y = a_0 - al, \tag{2}$$

其中 $y = \ln R_s, a_0 = \ln C$.

把图 2 各种加工参数的试验结果分别按式(2)的线性模型进行一元线性回归, 并作显著性检验, 可分别得到各自的回归模型和显著性水平, 结果如表 2 所示(表中 α 为显著性).

表 2 的回归结果表明, 采用衰减的指数模型描述加工过程中工件表面粗糙度的变化规律, 其置信度在 90%

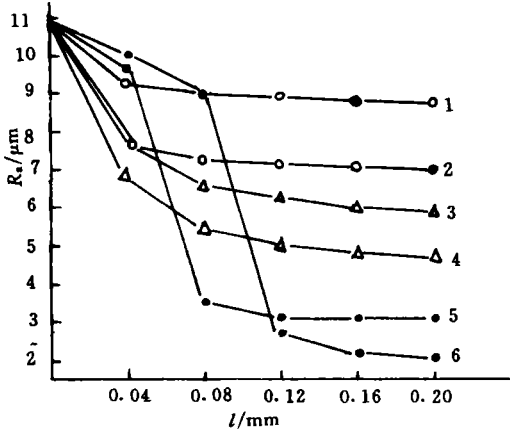


图 2 表面粗糙度变化趋势图

表 2 一元线性回归结果

序号	回归方程	$F_{\text{比}} = S_{\text{回}} / S_{\text{剩}} / 4$	α
1	$R_s = 10.125e^{-0.911l}$	7.55	0.1
2	$R_s = 9.226e^{-1.76l}$	5.63	0.1
3	$R_s = 9.346e^{-2.796l}$	14.57	0.05
4	$R_s = 8.793e^{-3.846l}$	14.07	0.05
5	$R_s = 9.6e^{-7.143l}$	12.89	0.05
6	$R_s = 13.079e^{-10.029l}$	27.48	0.01

以上. 这些模型将为从理论上解决加工参数最佳切换问题提供前提条件.

4 回归模型的应用

借助于表 2 的回归结果, 可以建立求解加工参数最佳切换点的数学模型.

前已提及, 电火花成型加工过程中, 大部分的加工余量是通过粗加工完成. 粗加工完成后, 留下很小的加工余量进行修光. 根据实际操作经验, 修光余量一般取 0.20 mm 左右(前面的试验结果已证实了这一点). 因此, 这里取第一个约束条件为总的修光余量为 0.20 mm . 另一个约束条件为工件表面应达到预定的粗糙度指标. 优化目标是: 在 0.20 mm 的修光余量内, 使工件表面粗糙度指标达到预定范围内, 保证有最小的电极损耗. 据此, 建立求解加工参数最佳切

换点的数学模型. 其中目标函数为

$$\min\{V_i\} = \sum_{i=1}^6 \theta_i \cdot l_i \cdot A, \quad (3)$$

$$\text{约束条件} \quad R_{\min} < R_s = R_s^{(0)} e^{-\sum_{i=1}^6 \theta_i \cdot l_i} < R_{\max}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^6 l_i = 0.20(\text{mm}), \quad (5)$$

式中 V_i 为电极损耗(mm^3); θ_i 为第 i 种加工参数的电极相对损耗(%); l_i 为第 i 种加工参数的加工深度(mm); A 为电极工作面积(mm^2); R_{\min}, R_{\max} 分别为预定工件表面粗糙度指标的下限值和上限值(μm); $R_s^{(0)}$ 为初始工件表面粗糙度(μm).

把式(4)各项同时取自然对数,可以转化成线性模型. 采用线性规划法^[3],可以求出优化解 $\{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6\}$,即得到各种加工参数的最佳切换点. 限于篇幅,这部分内容另文介绍.

5 结论

(1) 电火花成型加工工件表面粗糙度是一个渐序变化的过程,从比较粗糙的工件表面不断整平,表面粗糙度的变化规律可以用衰减的指数函数描述,置信度在90%以上.

(2) 工件经粗加工后,留下约0.20 mm的修光余量,经过试验证实是合理的.

(3) 求解各种加工参数最佳切换点的问题,可以把它归结为线性规划问题,其数学模型简洁、可行.

参 考 文 献

- 1 刘晋春,陆纪培. 特种加工. 北京:机械工业出版社,1987. 11~21
- 2 江开勇. LD钢电火花线切割加工工艺规律试验研究. 华侨大学学报(自然科学版),1994,15(4):429~433
- 3 Chua M S 著. 使用试验设计和优化方法确定最佳切削条件. 吴希让等译. 国外金属加工,1994,(5):34~40

An Optimized Electric Spark Forming Technology for the Use of LD Steel

Jiang Kaiyong

(Dept. of Precis. Mech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract The electric spark forming of LD steel 7Cr7Mo3V2Si as a new type die steel was investigated by adopting step machining technology, with the purpose of finding out regular pattern of its surface forming. On this basis, a mathematical model was formed for solving optimal switchover point of working parameters.

Keywords electric spark forming, LD steel, step machining technology