

放電加工における表面あらさ

高 辻 雄 三
南 立 作

Surface Roughness in Electrical Discharge Machining

Yuzo TAKATSUZI

Ryusaku MINAMI

The single discharged crater shape in the R-C circuit was studied with regard to the influence of condenser capacity.

From obtained result, surface roughness in the repeated discharge machining was got as follows.

- (1) The relationship between depth of crater and condenser capacity.

$$h_1 \propto c^{0.23}$$

where

h_1 : depth of crater (μ)

c : condenser capacity (μF)

- (2) Surface roughness in the discharge machining.

$$H_{\max} = 1.9h_1 + h_2$$

where

H_{\max} : maximum surface roughness (μ)

h_2 : height of crater upheavals (μ)

1. 緒 言

放電加工を行なったとき、その仕上面あらさを知ることが必要であるが、加工条件と仕上面あらさの関係について未だ十分解明されていない現状である。

それで本論文では、R-C放電回路におけるコンデンサ容量を種々変えた際、単発放電痕について八戸の理論的解析⁽¹⁾を引用して、そのクレータ深さとコンデンサ容量との関係を推察し、実験結果と比較検討を行なった。

また、単発放電によって生ずるクレータ形状を基礎として、連続放電の表面あらさ、すなわち、放電加工面あらさについて考察を行ない一応の結論を得た。

2. 基礎算式

- (a) 単発放電クレータ深さとコンデンサ容量との

関係

いま、放電電流を $i(t)$ 、電極間抵抗 r_s とすれば、微小時間 dt の間に両電極間に発生する熱量 dQ は、

$$dQ = \frac{1}{J} i^2(t) r_s \cdot dt \quad \dots\dots\dots(1)$$

で表わされる。

上式を積分し、第1半波時間内に電極間で放出される全熱量 Q は八戸の論文を参照すれば

$$Q = \frac{1}{J} \left(\frac{V_c \cot \alpha}{L\pi} \right)^2 \left(2L \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{\pi}{t_s} \right)^2} - r_e \right) \frac{1}{4\alpha} \left(1 - e^{-2\alpha t_s} \right) \frac{1}{1 + \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

上式において、

V_c : 放電開始電圧 L : 放電回路のインダクタンス、
 t_s : 第1半波時間 r_e : 放電回路の純抵抗

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 $R=r_s+r_e$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$t_s = \frac{\pi}{\beta} = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} \dots\dots\dots(5)$$

$$r_s = 2L\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{\pi}{t_s}\right)^2} - r_e \dots\dots\dots(6)$$

上式で、全熱量Qにおよぼすコンデンサのみの影響について調べてみるとかなり複雑ではあるが、 $(t_s)^2$ 、

$$\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{\pi}{t_s}\right)^2}, (1 - e^{-2\alpha t_s}), \text{ および}$$

$\frac{1}{1 + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2}$ の項が関係すると考えられる。それでそ

れらの項についてコンデンサ容量の影響を吟味してみ

(i) t_s^2 について

式(5)の $\frac{1}{LC}$ と $\left(\frac{R}{2L}\right)^2$ とに実験を行なった数値を

代入して計算してみる。

$L=150\text{mH}$, $C=1\sim 100\mu\text{F}$, $r_s \approx 0.03\Omega$ であるから、 $\frac{1}{LC} = 0.7 \times 10^7 \sim 0.7 \times 10^5 \ll \left(\frac{R}{2L}\right)^2 = 10^{-2}$

すなわち、根号内の第2項を無視して考えることができるから、 $(t_s)^2 \propto C$

(ii) $\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{\pi}{t_s}\right)^2}$ について

(6)式の根号内に(5)式の関係を代入すると、

$$\frac{1}{LC} - \left(\frac{\pi}{t_s}\right)^2 = \frac{1}{LC} - \left\{ \frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \right\} = \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \text{ すなわち、この項のCが消去される}$$

るのでCの影響については考える必要がなくなる。

(iii) $(1 - 2^{-2\alpha t_s})$ について

$2\alpha t_s$ に数値を入れて計算してみると、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ のオーダーとなり、我々の実験範囲内でのコンデンサの影響はほとんど無視できる。

(iv) $1 + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2$ について

(iii)と同じように $1 \gg \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2$ となり、コンデンサの影響は無視できると思われる。

以上の考察より、

$$Q \propto C \dots\dots\dots(7)$$

という結論になる。

次にこの全熱量Qが単発放電クレータ深さといかなる関係にあるか、したがって、単発放電クレータ深さがコンデンサ容量Cといかなる関連をもつかについて

検討してみる。

いま、Vを単発放電によって加工物表面からえぐり取られるクレータ体積とすれば明らかに、

$$Q \propto V \dots\dots\dots(8)$$

でなければならない。

また、クレータ形状を球欠と仮定し、

d : 単発放電クレータ直径 h_1 : 単発放電クレータ深さ

$$\text{とすれば、} V = \frac{1}{6} \pi h \left\{ 3 \left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2 \right\}$$

しかるに、 $h \ll d$

$$\therefore V \propto d^2 h \dots\dots\dots(9)$$

ここで、クレータ曲率半径が一定ならば、一定の幾何学的関係が成立するが、放電加工では曲率半径は条件によって変化するので、実験結果よりこの間の関係を求めると、(図-5参照)

$$d \propto h^{1.3} \dots\dots\dots(10)$$

したがって、(9)、(10)両式から、

$$V \propto (h^{1.3})^2 h_1 = h_1^{3.6}$$

$$\therefore h_1 \propto V^{\frac{1}{3.6}} = V^{0.28} \dots\dots\dots(11)$$

それゆえに、(8)、(11)式から、

$$h_1 \propto Q^{0.28} \dots\dots\dots(12)$$

すなわち、結論として

$$h_1 \propto C^{0.28}$$

(b) 単発放電クレータ深さと連続放電面あらさとの関係

単発放電によって生ずるクレータを模型的に図-1に示すような半球状になると仮定する。

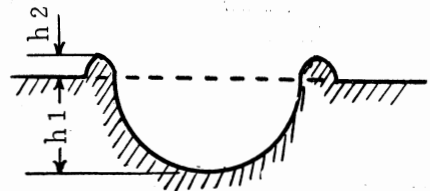


図-1 単発放電痕の模型

h_1 をクレータ深さ、 h_2 をもり上り高さと呼ぶ、連続放電を行なった場合、図-2に示すように第1次の放電によって2個以上の放電痕が並んででき、その境

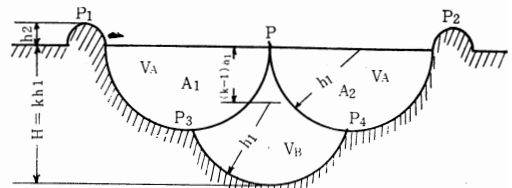


図-2 仕上げ面あらさ構成模型

界部のもりりPが誘因となって第2次の放電が起ると考えられる。次に起る放電はP₃、P₄部ではなく距離的に近いP₁、P₂部に起り、したがって、横に加工面積を広げてゆくはずである。それゆえに、連続放電面あらしさを最大あらしさで表わせば、

$$H_{max} = H + h_2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

になると考えられる。

図に示すように、A₁、A₂部の体積をV_A、B部の体積をV_{B1} + V_{B2} = V_Bとして表わせば、

$$V_A = \frac{2}{3} \pi h_1^3$$

$$V_{B1} = \left(\frac{5}{3} - \frac{\pi}{2} \right) \pi h_1^3$$

$$V_{B2} = \left(-\frac{1}{3} k^3 + 2k^2 - 3k + \frac{4}{3} \right) \pi h_1^3$$

しかるに、V_A = V_Bであるから、これらの式よりkの値を求めると、

$$k \doteq 1.89 \doteq 1.9$$

ゆえに、

$$H = k h_1 \doteq 1.9 h_1 \quad \dots\dots\dots(14)$$

(13)、(14)より

$$H_{max} = 1.9 h_1 + h_2$$

すなわち、連続放電面の最大あらしさは、単発放電のクレータ深さの1.9倍にもりり高さh₂を加えたものとなる。

3. 実験概要

実験に使用した機械は小池酸素KのSparkle P, D, 302型で、その主要部は図-3に示す。

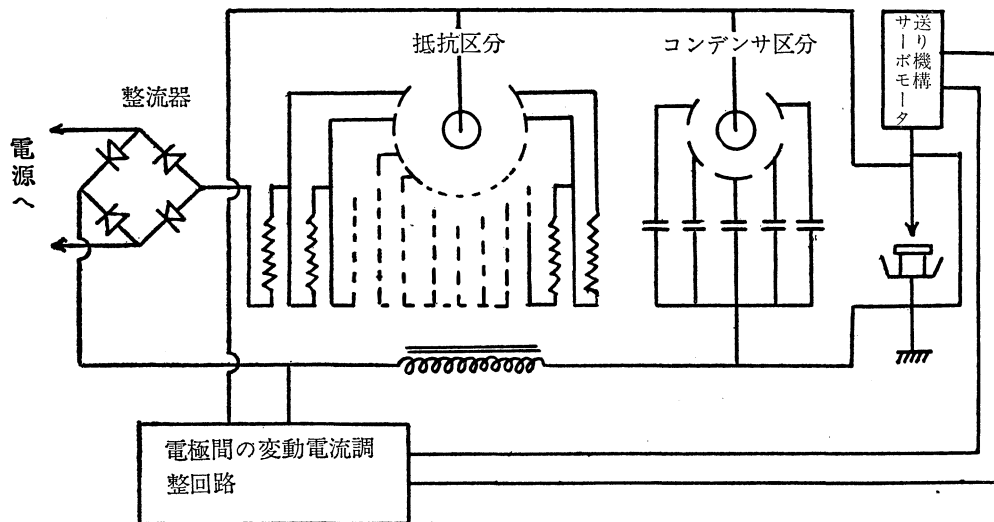


図-3 装置略図

図よりわかるように、本機はR-C回路を改良したもので、電極の送りは加工中の極間電圧を検出し、あらかじめ設定した電圧に常に等しくなるように自動的に送り速さを制御するようになっている。

本実験においては次のような条件で行なった。

(1) 放電電極

陰極には黄銅を旋削し6mmφに仕上し、端面をC₁₂O₈でラッピング仕上を行なった。

陽極には試験片としてS15Cの角材を精密研削し陰極と同様ラッピングにより鏡面仕上とした。

(2) 放電条件

充電抵抗を一定(54Ω)とし、コンデンサ容量を1~100μFまで変化させた。

単発放電では一定の送りを与え、最初の放電を終え

たところでスイッチを切った。また、連続放電では一定の送りを与え20秒間の加工を行なった。

(3) 放電加工液 ケロシン

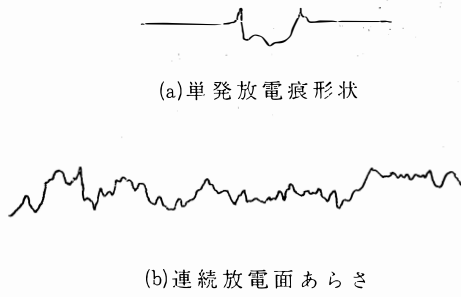
(4) あらしさの測定

小坂式仕上面検査機により、図-4のような放電痕のプロファイルを作り、それより、横倍率、縦倍率を同一になるように画きなおし、放電痕のdおよびh₁、h₂を求めた。

4. 実験結果および考察

図-5は単発クレータ深さとコンデンサ容量との関係を求めたグラフである。

実験結果はh₁ ∝ C^{0.88}となり、理論式のh₁がC^{0.28}に比例すると云う結論と大体一致している。



(a)単発放電痕形状
(b)連続放電面あらさ
図-4 あらさ曲線

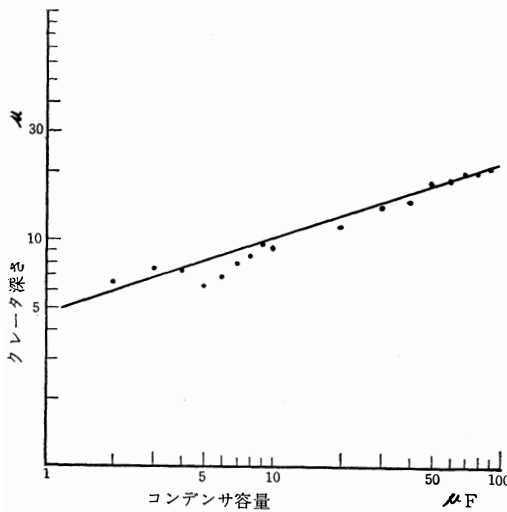


図-5 単発放電におけるクレータ深さとコンデンサ容量との関係

図においてコンデンサ容量5~10 μ Fの範囲でクレータ深さが小さく現われているのは、クレータが小さいので触針の先端半径が比較的大きく働いたためによるものと考えられる。また、1~4 μ Fの範囲でクレータ深さ h_1 が大きくなっているのは、放電痕が非常に小さくなり触針にかかり難いものも出てきたので、比較的大きい放電痕のみを測定した事によるのであろうと思われる。

図-6は単発放電におけるもり上りとコンデンサ容量との関係を図示したものである。図よりわかるように、コンデンサ容量がやく20 μ Fに達すると、それ以上にコンデンサ容量が大きくなってももり上り高さはほぼ一定となり、それ以下の容量では容量が小さくなるにしたがいもり上り高さも小さくなっていく。このことはもり上りは熔融金属が放電痕の周囲に押し出されてできると云うことから考えれば容易にうなづかれる。

図-7はクレータ深さとクレータ直径の関係を図示

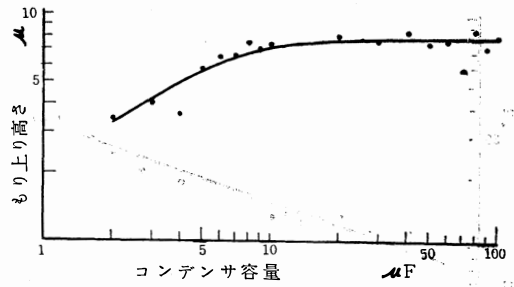


図-6 単発放電におけるコンデンサ容量ともり上り高さとの関係

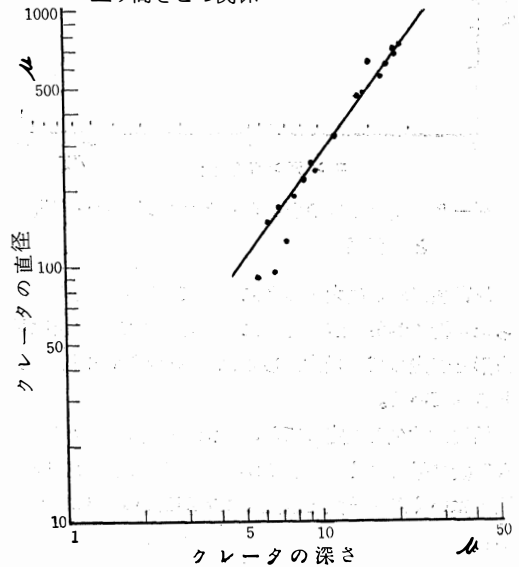


図-7 単発放電におけるクレータ深さとクレータ直径との関係

したもので、このグラフよりそれらの関係を求めれば、 $d \propto h_1^{1.3}$ となる。(もちろんこの事はS15Cの場合にのみ適用されるもので、材料が変わればこの関係は変化するものと思う)

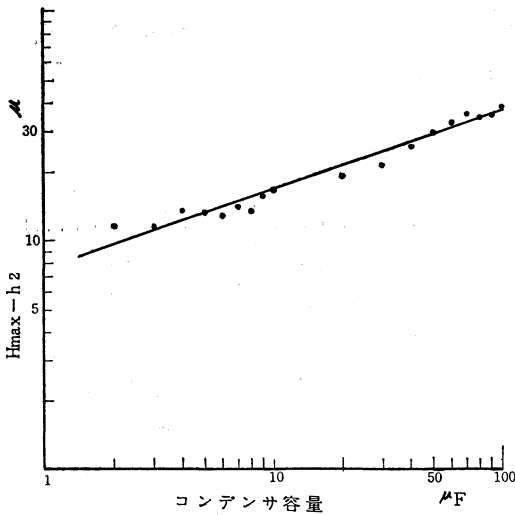
図-8は連続放電面のあらさとコンデンサ容量との関係を求めたグラフである。

すなわち、横軸にコンデンサ容量、縦軸に面あらさ($H_{max}-h_2$)をとって示したのであるが、この図と図-3より単発放電痕深さ h_1 との関係を求めると、

$$H_{max}-h_2=1.7h_1$$

となる。これは我々が求めた式 $H_{max}-h_2=1.9h_1$ とはほぼ一致する。

我々の考察による値より単発放電のクレータ形状を半球状と仮定(実際は異なる)したこと、および、最初の放電により溶触した材料が完全に取り去られないうちに第2、第3の放電が起るためであろうと考えられる。



図—8 連続放電の面あらしとコンデンサー容量との関係

放電加工面の最大あらしについては既に斉藤の行なった解析⁽²⁾があるが、それによると、単発放電痕は長方形と仮定して、最大あらしは $H_{\max} = 2h_1 + h_2$ で表わされている。

結局、球欠と仮定しても、また、長方形と仮定するも実験結果とよく一致するが、我々の行なった実験範囲ではいくぶん球欠と仮定した方が良いように思われる。

5. 結 論

コンデン容量が放電加工面におよぼす影響をまとめると次のごとくなる。

1. 単発放電のクレータ深さはコンデンサ容量 C の0.28乗に比例して大きくなる。したがって、放電加工面の最大あらしも C の0.28乗に比例して大きくなると考えられる。
2. 単発放電のもり上り量はコンデンサ容量 C には無関係で、 C がある値以上になるとほぼ一定になる。
3. 連続放電面の最大あらしと単発放電のクレータ深さとの関係は簡単な一次式で表われる。

すなわち、 $H_{\max} = 1.9h_1 + h_2$

参 考 文 献

- (1) 八戸 放電研摩に関する研究 I
精密機械 29-11 (昭38) P.842
- (2) 斉藤 放電加工メカニズム
精密機械 29-10 (昭38) P.692
(昭43. 10. 31受付)