

# 202 放電加工面の特性 (放電クレータ加工面あらし)

正 筒井 忠 夫 (新潟大工) 准\* 田 村 武 夫 (新潟大工)

## 1. 緒 言

放電加工は液中における過渡アーチ放電の繰返しによって被加工物を所定の形状に加工する。そのための加工性能に関して重要な問題である加工面あらしは、放電条件や放電の繰返し状態によって大きく左右される。すなわち、単発放電によって加工面に生ずる放電クレータは放電エネルギーに支配される。

そこで本研究では電氣的条件(放電開始電圧、コンデンサ容量、インダクタンス)を変化させて、初めに単発放電によるクレータ深さを理論的、実験的に求め比較、検討する。また盛りエリ高さ、クレータ直径を求めクレータ深さと合わせて実験式を導く。次に連続放電による加工面あらしを各電氣的条件について実験式を導き、単発放電によるクレータと加工面あらしとの関係について実験的に求め考察を加える。

## 2. 実験装置および方法

実験は図1に示すRCL回路を用いて行なった。整流体Sに第2半波をバイパスし第1半波のみで加工を行なう。被加工物として市販のS50Cを使用した。加工用電極材料に銅を用い単発放電には直径2mmの針状電極、連続放電には直径1.0mmの棒状電極をそれぞれを用いた。加工液には灯油を用い、正極性で加工を行なった。

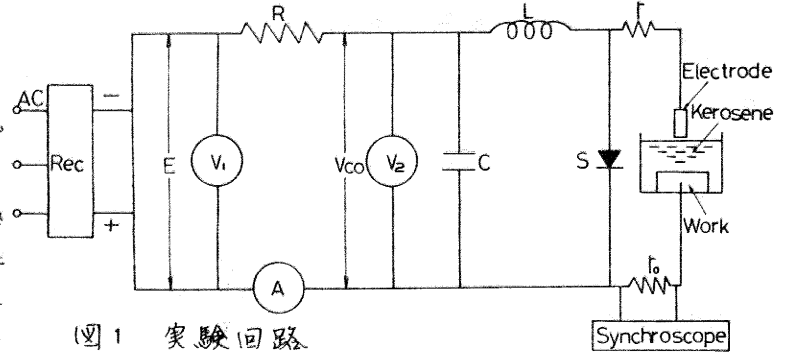


図1 実験回路

実験方法は所定の電氣的条件において単発放電の場合、各放電開始電圧で放電を発生させる。クレータの形状は融針式あらし測定機を用いて図2に示すクレータ直径d、クレータ深さh<sub>1</sub>および盛りエリ高さh<sub>2</sub>を測定する。次に連続放電の場合、平均放電開始電圧が電源電圧の90%以上になるように放電ギャップを保ち加工を行なう。放電時間は放電が試料面に通じなくなるように1/2分間とする。あらしの測定はあらし測定機を用いて最大高さR<sub>max</sub>を求めた。ただし、25μm R<sub>max</sub>を越えるあらしについては、その基準長さはJIS規格と異なり4mmとして求めた。

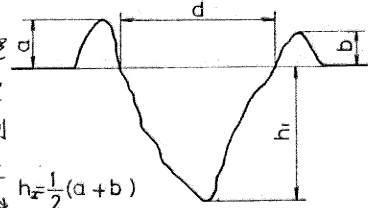


図2 クレータの形状

## 3. 実験結果および考察

単発放電によるクレータ深さh<sub>1</sub>は図3の熱伝導モデルからシミュレートする。すなわち、半無限体表面(z=0平面)に放電柱の半径rに依存する熱エネルギーが円形面積域(0 ≤ r < a)に供給される場合を考察する。そのとき温度θ(z,t)に関する熱伝導の微分方程式を円筒座標で表わすと次のようになる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t}(r, \varphi, z, t) = k \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

次に放電点にステップ状の熱入力が入り、放電点以外の部分は熱的に絶縁されたと仮定すると(1)式の軸対称解を定常状態の場合について求める<sup>1)</sup>と次のようになる。

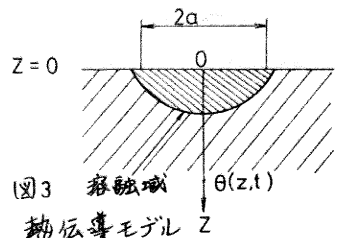


図3 融融域熱伝導モデル

$$0 < t \leq \tau$$

$$\theta(z,t) = \frac{2q\sqrt{kt}}{K} \left\{ \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{kt}} - \operatorname{ierfc} \frac{\sqrt{x^2+a^2}}{2\sqrt{kt}} \right\} \quad (2)$$

$$\tau < t$$

$$\theta(z,t) = \frac{2q\sqrt{kt}}{K} \left\{ \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{kt}} - \operatorname{ierfc} \frac{\sqrt{x^2+a^2}}{2\sqrt{kt}} \right\} - \frac{2q\sqrt{k(t-\tau)}}{K} \left\{ \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{k(t-\tau)}} - \operatorname{ierfc} \frac{\sqrt{x^2+a^2}}{2\sqrt{k(t-\tau)}} \right\} \quad (3)$$

ただし、 $q = Q / \pi a^2 \tau$ ,  $k = K / \rho C$

$Q$ : 表面に供給される熱エネルギー

$\tau$ : 加熱時間,  $k$ : 温度伝導率

$K$ : 熱伝導率,  $\rho$ : 密度,  $C$ : 比熱

なお、 $k$  などの物理定数は温度により変化しないと仮定し、ここでは溶融潜熱も考慮に入れて計算を行った。

図 4.56 に放電開始電圧、コンデンサ容量およびインダクタンスを変化させてクレータ深さを理論的、実験的に求めたものである。理論値(最大溶融深さは放電時間 $t$ 以後も溶融すると考えた(3)式による値である。理論値は放電時間 $t$ まで溶融するとした(2)式による値を示す。理論値(最大溶融深さは)は放電開始電圧の増大と共に直線的に大きくなっていく。コンデンサ容量に対してある値で最大値をもつ。インダクタンスに関してはある一定の値に漸近していく。次に放電時間 $t$ まで溶融するとした理論値は、いずれの場合にもほぼ直線的な増加を示し、各実験値に対する傾向とがかなりよい一致を示す。このことはクレータ深さの増大は1回の放電によって被加工物から除去される体積 $V$ はコンデンサ $C$ に貯えられるエネルギーに比例し、元々の実験によれば $V \propto CV_0^{0.20} \tau = 1/3 \sim 1/4$ となるからである。定量的に比較してみると放電開始電圧、コンデンサ容量の場合20~30%理論値より小さくなった。これは理論値の計算の際にエネルギーが陽極、陰極にそれぞれ50%配分されると考え、放電柱の損失、極性、電極材質の影響も考慮に入れなかったためである。インダクタンスの場合は50%ほど小さくなった。これは上記の理由のほか、次のことが考えられる。インダクタンスによる放電時間の伸長が単位時間当たりのエネルギーを減少し、金属や加工液の気化が緩やかに行なわれるので放電圧力は減少する。このため溶融層がクレータ内部から完全に除去されず実際の溶融深さより浅くなる。以上各電気的条件的場合について、クレータ深さの実験式を求め整理すると次のようになる。

$$h_i \propto C^{0.20} V_0^{0.24} L^{0.23} \quad (C: \mu F, V_0: V, L: \mu H)$$

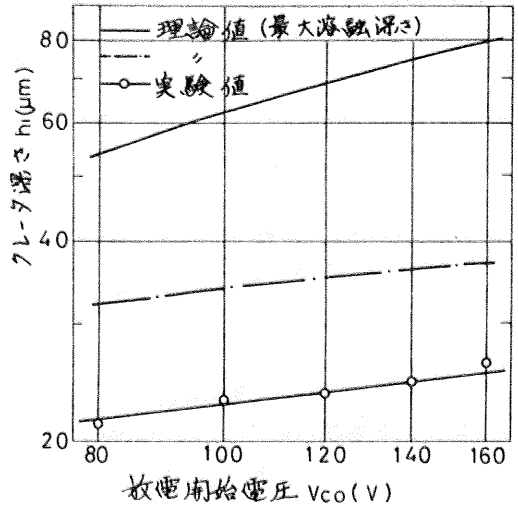


図 4 放電開始電圧とクレータ深さの関係

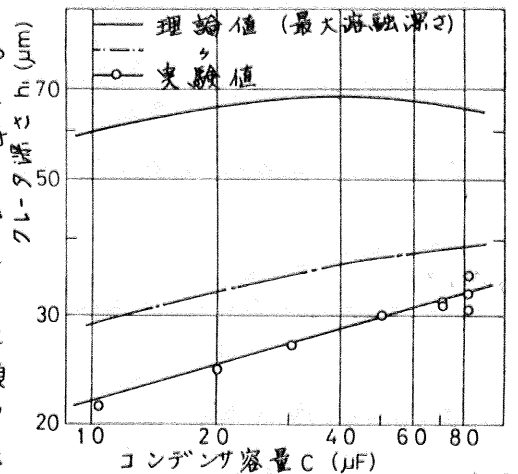


図 5 コンデンサ容量とクレータ深さの関係

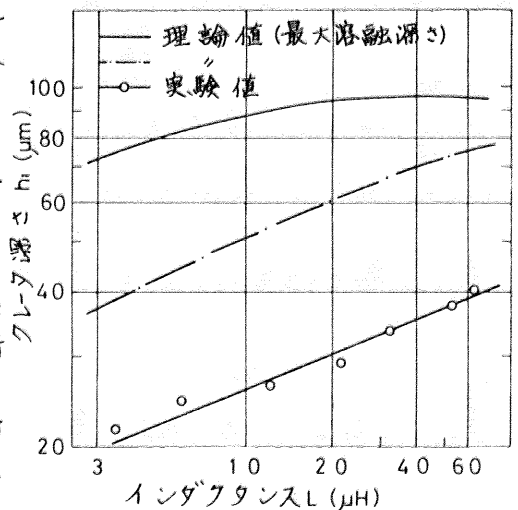


図 6 インダクタンスとクレータ深さの関係

次にクレータ直径d盛り上り高さh<sub>2</sub>に関して実験式を求めると次のようになる。(図省略)

$$h_2 \propto C^{0.36} V_{co}^{0.40} L^{-0.34}$$

$$d \propto C^{0.44} V_{co}^{0.70} L^{-0.18}$$

図7,8,9に単発放電によるクレータと加工面あらしとの関係を放電開始電圧, コンデンサ容量およびインダクタンスを変化させて求めた結果をそれぞれ両対数で示した。図には単発クレータとの関係を求めるためクレータ深さh<sub>1</sub>盛り上り高さh<sub>2</sub>およびh<sub>1</sub>+h<sub>2</sub>の値も同時に示した。平均放電開始電圧を変化させた場合以外は加工面のあらしはh<sub>1</sub>+h<sub>2</sub>にはほぼ一致している。しかし平均放電開始電圧を変化させた場合はh<sub>1</sub>+h<sub>2</sub>より大きくなり一般に言われている値<sup>3)</sup> 2h<sub>1</sub>+h<sub>2</sub>に近づく。これはあらし曲線から集中放電が加工面に一部生じたことに起因する。実験では特に加工屑の排除も行なわなかったため加工液から熱溶解してできた炭素が付着したり加工屑を介して放電を起こしたためと考へる。図より各場合について実験式を求め整理すると次のようになる。

$$R_{max} \propto C^{0.32} V_{co}^{0.56}$$

#### 4. 結論

単発放電によるクレータの大きさを理論的, 実験的に求め, 連続放電における加工面あらしについて調べ単発放電クレータとの関係を明らかにした。

- 1) 単発放電によるクレータ深さh<sub>1</sub>は放電時間tまで溶融するとした理論値に傾向が一致する。
- 2) クレータ深さh<sub>1</sub>と盛り上り高さh<sub>2</sub>およびクレータ直径dの実験式は次のようになる。

$$h_1 \propto C^{0.20} V_{co}^{0.24} L^{0.23} \quad C: \mu F$$

$$h_2 \propto C^{0.36} V_{co}^{0.40} L^{-0.34} \quad V_{co}: V$$

$$d \propto C^{0.44} V_{co}^{0.70} L^{-0.18} \quad L: \mu H$$

- 3) 加工面あらしR<sub>max</sub>は実験的に次式で示される。

$$R_{max} \propto C^{0.32} V_{co}^{0.56}$$

- 4) 加工面あらしR<sub>max</sub>とクレータ深さh<sub>1</sub>および盛り上り高さh<sub>2</sub>の間に次の実験式が成立する。

$$R_{max} \approx h_1 + h_2$$

#### 参考文献

- (1) H.S. Carslaw and J.C. Jaeger: *Conduction of Heat in Solids*, Oxford University Press, (1959), 264.
- (2) 元木幹雄: 放電応用装置, 日刊工業新聞社, (1966), 89.
- (3) 電気加工学会関西支部: 放電加工の理論と技術, 1964.

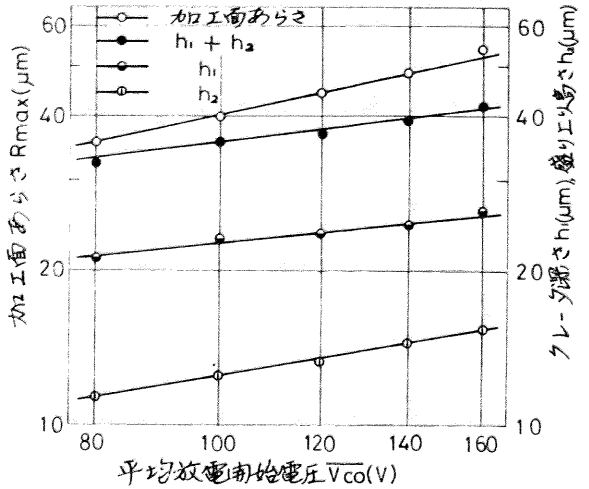


図7 平均放電開始電圧とあらしの関係

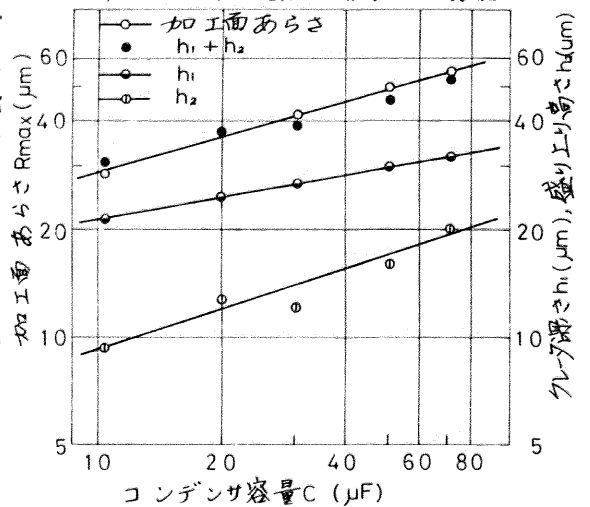


図8 コンデンサ容量とあらしの関係

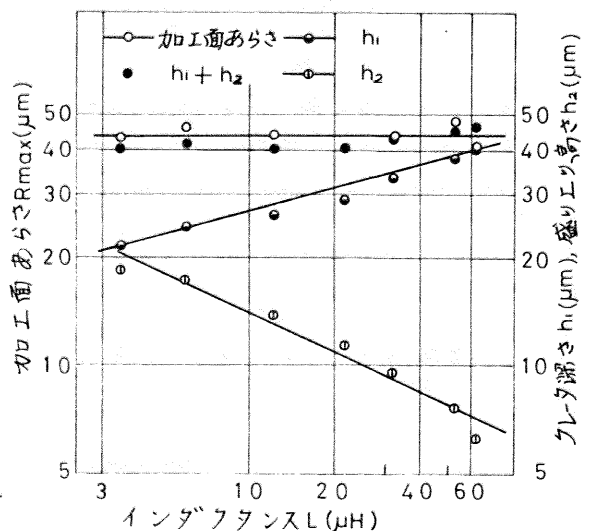


図9 インダクタンスとあらしの関係