液中放電成形に関する基礎的研究 (第1報)*

奥 島 啓 式** 人 見 勝 人**
井 上 友 一*** 大 森 正 巳***

Fundamentals of Hydrospark Forming

Keiji OKUSHIMA, Katsundo HITOMI, Tomoichi INOUE, Masami OMORI

In order to investigate fundamental process of hydrospark forming which is one of high-energy-rate forming operations, in this paper, a method of the measurement of pressure produced by hydrospark was proposed. By this method pressure distribution for free forming of a thin plate was obtained under various spark conditions, and ability of hydrospark forming technique was discussed.

1. ま え が き

衝撃成形法の一部門として、最近放電プレスがようやく工業化されつつある。これは超高速ひずみ加工ともいうべき性質のもので、いつたん、コンデンサに充電された静電エネルギーを瞬間的に消費して、その静電エネルギーを機械的エネルギーに転換させ、非常に高速度で仕事をさせるもので、その特長は

- (a) 低速加工法による場合に比して弾性回復域が少なくなる。
- (b) 比較的もろい強靱材料でも成形が可能である。

などといわれている。

この一方法として液中放電成形法がある。これは液体中で火花放電をさせて、そのエネルギーを液体を介して加工物に作用させる方法でその装置の概略を図1に示す。

図1 液中放電成形装置の概略図

まず液中放電成形の能力に関係するおもな因子をあげると

- (1) コンデンサ容量 (μF)、およびその充電電圧 (V)

- (2) 放電回路特性 (コンデンサ内部の抵抗、導線抵抗ならびに開閉器の抵抗、などによる)

- (3) 電極間距離

- (4) 使用する液の種類およびその深さ

- (5) 開放型、密閉型

などにより影響を受ける。本報告は基礎的な問題として

- a) 液中放電における衝撃能力の測定
- b) 液中放電成形の能力分布およびその能力と放電条件の関係

について述べる。

2. 液中放電における衝撃能力分布の測定

衝撃能力の測定方法はいろいろあるが、能力分布を求める場合受圧面上の多くの点の衝撃能力を同時に測定し得ることが望ましいので、この研究では受圧面に微小孔を数多く配列して、その上を金属板で覆い、受圧後に金属板の変形量から各位置における成形能力を求める方法によつた。

2.1 実験装置

使用コンデンサは容量 $2.38 \mu\text{F}$ のものを18個並列に配線した。なおコンデンサ許容充電電圧は 30 kV である。放電槽の形状寸法は図2に示すような開放型で、容器は普通鋼板、電極材料は市販の黄銅材を使用した。また使用液は水道水を用いた。受圧測定用試料は市販の黄銅板 (厚さ 0.20 mm , 直径 280 mm) を使用した。

型および押し板を図3に示す。押さえ板を使用した理由は試料の厚みに比較して受圧面積を大きく取つた関係上押さえ板がない場合試料全体が非常に不規則に変形するためである。押さえ板の影響をなるべく少なくする目的で、放電方向に平行な方向 (X-X) およびそれに直角

* 昭和37年11月 精機学会関西支部秋季講演会において講演

** 京都大学工学部 正会員

*** 京都工芸繊維大学繊維学部 正会員

図 2 放電槽

図 3 型および押さえ板

な方向 (Y-Y) には図で解るような長溝をあけて、測定は (X-X) および (Y-Y) 上の点のみを採用した (図 4(c) 参照)

2.2 実験方法

衝撃による変形量からその衝撃能力を求める場合、その衝撃にともなうひずみ速度と等しいひずみ速度における応力ひずみ曲線を求めなければならないが、実際には不可能であるので、その変形をおこすに必要な静的圧力を求め、これをもつて相当静圧とした。すなわち静的荷重試験によつて金属板の変形と静圧との関係を探し、衝撃成形によつて生じた変形量に対する相当静圧を求めこれより能力分布を決定した。

2.3 静圧と変形との関係

静圧—変形曲線を求める前に液中放電による金属板の変形についてしらべた。図 3 に示すごとき型板上に前記試料 (0.2mm 厚の黄銅板) をのせ前記 (図 2) に示した放電槽内に設置し水中放電による衝撃を試みた結果、図 4(a) に示すような変形が得られた。このくぼみの形を測定した結果の一例を図 4(b) に示す、図中黒丸で示したのは測定点で、実線で示した曲線は一定半径の円弧である。数字は受圧面の定位置 (図 4(c) 参照) を示し 0 点は放電直下、すなわち形板中央である。図からわか

(a)

(b)

(c)

図 4 受圧板の変形

るように、くぼみ変形面は円弧回転面によく一致している。それで図 5 に示すような加圧装置のプランジャの先端部を図 4(b) から得た球面半径に仕上げたものを、5 種類 (半径 2, 3, 4, 5, 6mm) 用意して半径の大きいものから逐次プランジャを取り換えて、静荷重—変形 (くぼみ深さ d) の関係を探した。その結果より、静圧 = (荷重/プランジャ断面積) として圧力 (p) を求め、

図 5 静圧試験用加圧具

図 6 静圧—くぼみ深さ曲線

静圧 (p)—くぼみ深さ (δ) 曲線を求めた。これを図 6 に示す、この曲線の積分値として変形に対する仕事量 (w) を求め図中に示した。この図を尺度として液中放電成形における衝撃能力分布 (相当静圧分布) を測定しようとするのである。

3. 実験結果および考察

3.1 水深 h (図 2 参照) の影響

火薬による爆発成形の場合等は水深の影響が相当大きいといわれているので、前記種々の因子の影響を調べる前に、水深 (h) の影響を確かめた。実験結果を図 7 に示す。図中測定点は放電直下すなわち型中央部 0 点における相当静圧 p_0 である。図からわかるように水深 h が増

図 7 水深と相当静圧の関係

大するに従つて相当静圧は急に上昇するが $h > 30\text{cm}$ ではほぼ水平となつている。これは水深をある程度以上大きく取つてもさほど効果をあげることができないことを示すものである。それで以後に述べる実験はすべて $h + H$ (図 2 参照) すなわち受圧面から水面までの距離 H' を 53cm にとつた。

3.2 コンデンサ容量 (C) の効果

コンデンサ容量を図中に示したように $2.38 \sim 2.38 \times 18 \mu\text{F}$ 間で 5 段階に変えた場合、受圧面内 X—X (電極に平行) 方向における能力分布を図 8(a) に示す。図中容量が比較的小さい場合すなわち $(2.38 \times 4) \mu\text{F}$ の場合は

図 8 コンデンサ容量と相当静圧の関係

その能力分布の勾配が、ほかの条件のときより、極端に異なつてはいるが、これは他の場合と比して容器あるいは水面からの影響を受けることが少ないためと推定される。そして受圧面 0 点の相当静圧 p_0 を以つて、コンデンサ容量の影響を示すと、図 8(b) のごとくなり、この実験の範囲ではその影響は大体 $15 \mu\text{F}$ 以上で直線的に上昇していることがわかる。

3.3 充電電圧 (V) の効果

コンデンサ充電電圧を 10, 15, 20, 25 kV の各場合の能力分布を測定した結果を、図 9(a) に示す。図からわかるごとく電圧 10, 15, 20 kV の各々に対しては中高の分布をしているが 25 kV の場合は図のように中心部が低くなつてはいる。これは恐らく限られた水槽内における衝撃波であるため、槽壁、水面からの反射その他の影響が極度に効いたためと考えられる。

つぎに、図 9(a) の受圧面中央 0 点の相当静圧 p_0 を

図 9 充電電圧と相当静圧の関係

それぞれ電圧 $V=10, 15, 20$ kV について示すと、図 9 (b) のごとくである。この図から圧力と電圧の間にはつぎの実験式が成立すると考えられる。

$$P = KV^m$$

図の場合における各常数の値はつぎのごとくである。

$$K = 0.8 \quad m = 2$$

常数 K は放電特性、コンデンサ容量、電極間距離、電極—受圧面距離、液の種類、等によって変化するものと考えられるが、くわしいことはつぎの機会にゆずる。

3.4 放電位置 (H) による効果

(電極—受圧平面間距離 H)

放電条件は、図 10 (a) に記したごとく一定とし、電極—受圧面、距離 H を 3.5, 5.0 (6.5) 8.0 (10.0) cm の 5 種類について、受圧板の受けた能力分布を測定した結果を、図 10(a) に示す。ただし H が (6.5) (10.0) cm の 2 種類の能力分布は、測定点が $H=5.0$ あるいは 8.0 cm の場合の測定点と重なり識別し難くなるので省略した。

なお充電電圧 V を 10 kV に取つたのは $H=3.5$ cm の条件で型中央付近すなわち 0 点付近がパンチングされない程度に止めるためである。図からわかるように、皆中高の圧力分布であるが、 H が大きくなるに従つて能力分布の最大傾斜は少なくなつていく。そしてこの図に示す 3 種類の能力分布の場合 $H=3.5$ cm と 5.0 cm の場合は周

図 10 放電部からの距離と相当静圧の関係

端部付近 (中心より 12cm の所) でほとんど相当静圧は 0 に近くなっているのに対し $H=8.0$ cm の場合は相当静圧が 40~50 kg/cm² 程度働いている。これは放電位置——測定位置を結ぶ線と受圧平面とのなす角 (図 12(a) 照参) θ が極度に影響するためと考えられる。

つぎに垂直衝撃を受ける点 0 の相当静圧 p_0 と、電極—受圧平面間距離 H の関係を図 10(b) に示す、図中実線で示したのは $p_0 H^2$ が一定の曲線である。この図から液中放電における相当静圧 (仕事能力) は大体放電位置からの距離の自乗に反比例すると判定できる。

3.5 電極間距離 (S) の効果

電極間距離が成形能力に影響することは、放電特性が変わることから容易に想像できる。図 11(a) は電極間距離を変えた時の能力分布で放電条件は図中に示した。この実験で放電電圧 $V=20$ kV を選んだのは、できるかぎり電極間距離が大きいところまで火花放電が可能で、しかも前記の中くぼみの能力分布 (槽の形、大きさの影響をうける) をさけるためである。これ等の能力分布のおおのから受圧測定平面中央圧力 (p_0) ならびに受圧平面 (直径 250 mm) の受圧平面全仕事量 (W) と電極間距離との関係を求めると、図 11(b) のごとくなる。この図からわかるように電極間距離が仕事量に大きな影響を与え、たとえば電極間距離 $S=4$ mm を $S=6$ mm にひろげることにより仕事量は約 3 倍になることがわかる。

図 11 電極間距離と相当静圧

図 12 相当静圧の理論分布と測定相当静圧

3.6 液中放電における平面の受ける能力分布

受圧位置と火花放電位置の間の距離について相当静圧降下は 3.4 で述べたごとく距離 H の自乗に反比例する。

いま簡単のために圧力伝播が球面状になると仮定する, すなわち等圧面が放電電極間の中心 B を中心とする球面状に分布していると仮定する, すなわち図 12 (a) について B 点より距離 H の点 O を原点とする BO に垂直な XY 平面の X 軸上の一点 A の受ける垂直圧力は, AB の距離 a と圧力角 θ を考えて次式で示されるであろう。

$$p_x = p_0 \frac{H^2}{a^2} \sin \theta$$

ただし

p_x : A 点における XY 平面に垂直な相当静圧

p_0 : O 点における相当静圧

とすれば

$$\begin{aligned} p_x &= p_0 \frac{H^2}{H^2 + x^2} \cdot \frac{H}{\sqrt{H^2 + x^2}} \\ &= p_0 \frac{H^3}{(H^2 + x^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

図 12(b) は実験 (図 9a) による相当静圧の分布と上記の理論式による分布を示したもので, これをみると, 10, 15 kV のときは, かなりよく一致しているが, 20 kV になると相当の開きが認められる。これは実測点の分布が中央部で多少中くぼみになっていることから, 槽壁などの反射波の影響が出たのではないかと考えられる。

4. まとめ

以上実験結果を簡単にまとめると,

1) 液中火花放電により発生する相当静圧あるいは機械的仕事量 (図 4 より変形深さ (δ) に対する単位面積当たり仕事量がわかるから, 全面仕事量は図式積分で計算できる) は放電位置—水面間距離 (h) が約 300mm 以下では, (h) の増大にともない発生能力も増大するが, (h) が約 300 mm に達するとこの実験条件範囲ではそれ以上効果はあがらない。

2) 水中火花放電により発生する相当静圧は, コンデンサ容量と大体直線の関係で増加する。

3) 液中火花放電により発生する相当静圧は, コンデンサ充電電圧 (V) との間につぎの関係が成立する。

$$p_0 = KV^2$$

ただし K は比例常数で, 回路特性, 電極間距離, 液の種類, 等によりきまりこの実験条件では $K=0.8$ である。

4) 水中火花放電により発生する伝ば圧力の強さ (相

当静圧)は放電位置からの距離の2乗に反比例する。

5) 水中火花放電成形における機械的仕事量は電極間距離が相当大きく影響を与え、大体火花放電の可能な範囲で大きくするほど効率がよくなる。

6) 水中火花放電により平面の受ける衝撃波の能力分布(相当静圧の分布)は容器の形、大小、放電条件、等

の相関々係により、中高、中くぼみ等の分布となるが容器の影響の少ない条件では大体理論分布に一致する。

最後に、本研究のために、実験設備その他種々の便宜を与えられた島津製作所レントゲン工場長・中堀孝志氏ならびに研究室各位に深甚の謝意を表す次第である。

(1963, 1月12日受付)

— 表紙写真説明 —

ボールベアリング自動選別組立機

本機はボールベアリングの組立工程に使用される選別機で、従来のボールベアリング内・外輪溝径自動選別機を一段と飛躍させた自動選別機である。高精度の電気マイクロメータを用いて、ボールベアリング内・外輪溝径の差を自動測定し、その隙間に適寸なるボールおよび個数を選択する、自動選別機であると同時に選択されたボールを組立作業位置に送り込み、内外輪の間に挿入、組立を行う自動組立機で、測定部、ボール定数装置、ボール挿入部、パネル部より構成されている。

選別機の機構

1. 測定部

内・外輪は自動的にシュートに送られてきた後、または手並べされた後、内・外輪が、それぞれの測定部に定置されると測定ヘッドが前進し、停止後可動測定子のピストンが作動して、ワークを二つの測定子で保持しパイプレータによつて、ワークを安定させ溝最大径、最小径それぞれを測定する。

2. ボール定数装置

定数装置は各ボール格納箱の下に付設され、電気マイクロメータからの測定信号によつて作動するエアピストンにより格納箱内のボールを導入し、ボール挿入部へ定数個のボールを送り出す。

3. ボール挿入部

ボール挿入口のパイプにはフォト・トランジスタ2個を備え定数ボールを確認する。オペレータが、内外輪

をシュートから取出し、組込んだものをボール挿入部のV部に押し付けると、ストップがボールスライドにより後退してパイプ内のボールが内外輪の間に挿入される。

4. パネル部

指示パネルには、メータ(X, Y, X-Y切換式)選別区間指示ランプ(23個)、電源、自動、調整、運転、ボール不足等のランプ群があり、電気マイクロメータが内蔵され、操作パネルには、電源、自動、調整、パイプレータ用S.W.および起動、停止、ボール出し、ワーク挿入、落し、測定部前進、後退等の押し釦SWが外装されている。

仕 様

1. 選別段階……OK21段階, $\pm$ NG 計23段階
2. フルスケール……48 μ ($\pm$ 24 μ)
3. 選別区間……内・外輪の差を2 μ 毎に区分する。
4. 保証精度…… $\pm$ 1 μ (同一個所の繰返し測定値のバラツキ) ただし周囲温度 20°C~25°Cの間で $\pm$ 1.5°Cのこと
5. 時間特性……1.5 μ /4h (周囲温度 $\pm$ 1.5°C)
6. 選別速度……5秒/1個以内(約720pcs/1h)
7. 電 源……AC 200V $\pm$ 10% 三相
8. 空 気 源……4~7 kg/cm²
9. 最大寸法……2,050mm(幅)×1,350mm(奥)×1,600mm(高)

株式会社

東京精密

本 社 東京都三鷹市下連雀 337 TEL. ムサシノ (0422)(3)局 5145(代)~9
東京営業所 東京都港区芝浜松町2の7朝日ビル TEL. (431) 2037, 4477
大阪出張所 大阪市北区堂島中 1-41 ニュージャパンビル TEL. (362) 5738~9
名古屋出張所 名古屋市中村区広小路西通り2-26三井物産ビル TEL. (57) 4356~8