放電成形機の各種工業への応用と多量生産機の開発

青 木 吉 和 * 向 坂 光 雄 *

田 中 雄 三 * 加 茂 晃 一 *

Application of Electrohydraulic Metal
Forming Equipment to various Industries
and its Development for Mass Production

Yoshikazu Aoki , Mitsuo Kosaka

Yuzo Tanaka , Koichi Kamo

This paper presents the electrohydraulic metal forming equipment developed at the Shimadzu Seisakusho Ltd. and some applications using this equipment to the production of several industrial parts.

The specifications, constructions and features of the equipment for short and medium run production to form difficult shapes of complex parts are discussed. Various industrial parts formed by this equipment are shown as examples. And the tooling requirement, versatility and economy of the process are discussed.

With the aforementioned equipment and techniques as a base, new equipment for mass production has been developed. The problems of electrodes, capacitors, power supply, switching apparatus and others of this equipment are discussed. Especially, a design for the discharging chamber, which called the "Multiple part simultaneous forming system"

* 株式会社 島津製作所

and which makes mass production possible, is described.

Description of this type of the equipment designed to make unique parts with application in the automotive and electrical industries are presented.

1. 緒 論

新しい金属加工法として注目を浴びている高エネルギー速度成形法の一分野である放電成形法はこの数年間で実験室用の装置の段階より工業的な生産機への段階と開発は急速に進み、この成形法の能力と有用性は広く工業界の認めるところとなった。

日本におけるこの新しい成形法の開発は1938年、ソビエトのL. A. Yutkin, 1960年のアメリカのH. J. Wagner, 1959年のアメリカのR. L. Grandの論文の紹介によって始まり、数多くの大学・研究所・会社の研究機関で進められてきたのは周知のところである。

われわれは1960年よりこの成形法の開発に着手し、基礎研究を進めるかたわら、大学・研究所の要請により数多くの各種の実験用の装置を製作してきた。

A. 成形圧力はその目的に応じた任意の強さに容易に制御できる。したがって形状の複雑さ、寸法のいかににかかわらず成形は容易である。

B. 圧力の発生源は簡単な一対の電極であるために成形の必要に応じて任意の位置に移動できる。

C. 成形はめす型のみで良い。しかも中間焼鈍を必要とする数工程におよぶ成形においても型は最終形状のもののみでよく、型製作費の節約ができる。

D. パイプの成形がきわめて容易である。

E. 成形時の加圧機構は機械的成形機および油圧成形機の両者の性質を有し、ポンチの不要なことは機械的成形機にまさり、瞬間的に強力な圧力を得ることができることは油圧成形機にまさる。

などはこれら一連の基礎研究を通じて見出された放電成形法の特長であって、これまでの成形機にはみられないものである。

1964年、われわれはこれらの特長を最大限に活用し、工業生産機としての形体を整えるために中小量産用成形機を製作した。この装置は各方面の需要者に使用されて成形分野における適応性の検討が進められた。そしてさらには新しい成形技術も考案されて、これまでかなりの工数を要した困難な成形も容易にでき工業界の広く関心を寄せるところとなった。

放電成形機はこのようにして開発後数年の年月を経て、その真価を発揮し画期的な成形法であることが認められてきたのであるが、同時に量産機に対する要求は強く、この解決なくしては成形法そのものの能力や有用性はともかく将来の道は限定され、特殊加工機として運命づけられる気運にあった。

一方、放電成形法はほかの成形法に比較して充電・放電・注水・排水の各種の操作および材料の装填取出しなどさらには導線放電を使用するときには導線の取付けなど予備操作が多く、すでに開発当初より先入感的にこの成形法による量産機の製作は不可能であると決めつけられていた。

われわれは量産機の開発を目標に新しい試みとして一回の放電で同時に複数の製品が成形できる方式、すなわち「複数個同時成形方式」を採用した。この方式によって成形工数は極度に短縮され、ここに始めて多量生産用の放電成形機が出現した。現在、この装置は自動車および電気機器の一部品の専用成形機として稼動している。

この報告はわれわれが開発した中小量生産用放電成形SHT-45およびSHP-45の性能・特性・構造の概要とこの成形機によって製作された部品例および新しい応用成形技術について述べ、さらに多量生産機への開発とその装置の概要を述べている。

2. 中小量生産用放電成形機SHT-45型およびSHP-45型

放電成形機SHT-45型およびSHP-45型はこの新しい成形技術の採用によって成形分野の拡張を目的として製作された中小量生産用放電成形機である。

この装置は電源部と成形部に分かれ、成形部は使用目的によって型式が異なる。図1はSHT-45型の全景で、主としてパイプ材の張出し成形に使用される。図2はSHP-45型の成形部を示し、主として板金成形に使用される。このほか、放電加工機の加工電極成形用としてSHE-45型がある。図3はこの装置の全景を示す。

電源部はコンデンサバンク充電器・始動スイッチなどの主要部品で構成されている衝撃大電流発生装置と生産機として必要な操作をおこなうための制御器からなりたっている。図4は衝撃大電流発生装置の内部構造を示す。

電源部の最高エネルギーは45 KJ, 最高充電電圧は30KV,

図1 中小量生産用放電成形機SHT-45形の全景

図2 中小量生産用放電成形機SHP-45形の成形部

図3 放電加工機の加工電極成形用放電成形機SHE-45形の全景

総コンデンサ容量は $100\mu\text{F}$ で $5\mu\text{F}$ の単位コンデンサが2個宛並列に接続されて1ブロックを形成している。放電回路の総インダクタンスは約 $1\mu\text{H}$ で負荷短絡時の放電電流波形は減衰振動形で周波数は約 20KC 、最大電流値は約 350KA である。

成形出力は充電電圧およびコンデンサ容量の二者、すなわち電圧は充電電圧計（メーターリレー）の選択ノブの設定によって充電電圧は $0\sim 30\text{KV}$ まで連続に、またコンデンサ容量は電源部内の同軸ケーブルの接続換えによって $10\mu\text{F}\sim 100\mu\text{F}$ まで $10\mu\text{F}$ ごとに調整することができる。

この装置の充電・放電の一連の操作はすべて自動的におこなわれる。

充電は定電流充電方式を採用して時間の短縮をはかっている。最高エネルギーの充電に要する時間は12秒でこの値は容量および電圧の減少とともに短縮されることはいうまでもない。

放電始動スイッチは開発当初よりいろいろの方式が試みられてきたがおのおの一長一短があり、生産機としていずれの形式のスイッチが最適であるかを決めるにはいまだ研究の余地がある。この装置には簡単な構造の寿命の長い、しかも低価格の機械的なスイッチが採用され、よい結果を得ている。

電源部は鋼製のキャビネットに収納され、枠は完全に接地されている。放電回路はすべて同軸ケーブルおよび同軸接続金具を使用して放電時の大電流放電による磁束の漏洩を防ぎ、周囲の部品内に誘起される誘導電圧を防いでいる。

放電成形機 SHT-45 形はパイプの張出し成形に便利のように横形に設計され、図1に示されているように基台・ダイプレート・タイバー・放電槽・型締機構およびその駆動をおこなう油圧ユニットから構成されている。

パイプの張出し成形において型は一般に割型が使用される。この場合、衝撃的な強い圧力のために成形時に一瞬型の合せ目で隙間を生じ成形品にバリを生ずる。この装置は図5に示されているようなトグル・ウェッジ方式の型締機構を採用してこの問題を解決している。

この装置はさらにいろいろな寸法の型が容易に取付くよう型厚調整があり、また材料の装填および取出しに便利のように割型は放電槽を中心に両側に開くようになっている。

この装置のダイプレートの面積は $580\text{mm}\times 680\text{mm}$ 、タイバー間隔は $350\text{mm}\times 450\text{mm}$ 、型厚調整範囲は 200mm でダイストロークは 350mm である。

図4 衝撃大電流発生装置の内部構造

図5 トグルウェッジ方式型締機構

成形の可能なパイプの最大寸法はその材質・厚さ・成形形状・精度・放電条件などのいろいろの要素に影響され、一概には決定されないが寸法のみについていえば直径200mm、長さは350mmである。

放電電極の配置には各種の方式が使用されてきた。図6はその主な方式の推移を示す。(A)および(B)はパイプの内部に相対した一対の電極を挿入した方式であって、初期はすべてこの方式が採用されていた。この方式は放電点が材料に近接しているので成形効果のよいことおよび長い部品の成形において導線爆発を利用すれば軸方向に均一な成形が得られるなどの利点を有するが、一方、

A. 材料の装填および取出しのたびごとに上部電極

を動かし、かつ電極間隙を調整する必要がある。これは不能率ばかりでなく成形が不安定となる。

B. 成形品の形状および寸法によって電極構造は寸法の制限をうける。すなわち成形品の径が小さいときはこれにともなって電極の径も小さくなり、機械的強度が低下し、寿命も短くなる。また装置の出力が電極の強度で制限をうける。

C. パイプの直径が小さいときは電極と材料間の間隔が小さくなり、電極間で正常な放電がおこなわれず材料に向かって放電が生じ、成形品の内面が損傷することがある。

など多くの欠点があり、これらの欠点はすべて放電成形機の工業化への可能性を封じ困難にしていた重要な問題であった。(C)および(D)の場合はパイプの底部に放電槽を設けて圧力を発生し、これをパイプ内に送り込むもので、この方式により上記の問題はすべて解消され、ひいては将来の量産機的设计の可能性をもたらした。

SHT-45型は電極方式として(C)の方式を採用している。なお導線放電は放電の安定化およびエネルギー変換効率の上昇などの点で有用であるが導線を張るための浪費時間はきわめて長く、生産機として好ましくない。(D)の方式はこの作業を簡単にするために考えられたもので、この方式はあらかじめ適当な長さに切断された導線を放電槽の開口部より落下することにより張ったと同じ状態にしようとするものである。

電極の寿命はこの装置の開発の重要な問題の一つであった。とくに絶縁物の破損と電極の消耗は寿命に大きい影響をおよぼした。絶縁物は衝撃吸収のうえから弾性材質を、電極材料にはステンレス系材料を使用し、これらを衝撃力の吸収、熱的破損の防止を考えて配置し大巾に寿命を増すことができた。

われわれがこれまで経験したパイプで製作された工業部品のほとんどはこの装置で成形することができた。そしてその成形速度は平均1～1.5分に1個の割合であった。もちろん成形形状、材料によって

図6 パイプ材の成形における各種の放電槽・電極の配列方式

その速度は異なり放電回数を多く要するものまたは中間焼鈍を要するものはそれにとまって速度も低下する。

この装置は操作の安全をきずるためにいろいろの考慮がなされている。充電回路は型締機構と連結されていて、もし確実に型が締付けられていなければ充電できないようになっている。また割型はコンデンサバンクが確実に接地されていなければ両開きできないようになっている。さらにコンデンサバンクはつねに接地されていて充・放電の期間のみ開路されるなど高電圧の発生に対してとくに留意されている。

放電成形機 SHP-45 形は主として板金の成形に便利のように縦形に設計されている。この装置は基台の上面と側枠を案内として油圧で上下する圧板の下面の間に放電槽および型を締付けてこの部分で成形をおこなう方式を採用している。

この装置のダイプレートの面積は 700mm × 620mm, ラムストロークは 395mm でデイトは 945mm である。しわ押え圧力調整範囲は 0 ~ 88 ton で成形の可能なブランクの最大径は 600mm である。この装置の放電槽と型との配置関係は図 7(A) に示されているように一般に下側に放電槽が固定され、型は上側の圧板に取付けられるようになっている。しかしながら成形の目的によっては(A)の配置と逆の(B)の配置の望ましい場合もある。このため装置はいずれの配置もできるように考慮されている。

この装置の電源部は SHT-45 形のそれと全く同一のものが使用されている。したがって装置の性能定格は電氣的には等しい。

図 7 板金加工における放電槽と型の配置方式

3. 成形された工業部品の事例と新しく開拓された応用分野

これまで記述されてきた放電成形機 SHP-45 型・SHT-45 型を使用して、顧客先やわれわれの実験室でこれまでいろいろな工業部品の成形がおこなわれてきた。

この成形を通じて放電成形法はこれまでのほかの成形法に比較してチューブの張出し成形の容易なこと、成形に必要な治具が簡単で経済的なことなど多くの利点が修得された。

3.1 チューブの張出し成形

航空機部品には元来チューブの成形品が多い。そしてこれらの部品はこれまでラバーパッドによるバルジングやスピニングなどを用いておこなわれてきた。これらの方法はいずれも多く加工工数を要し、かつ価格もかなり高価となっていた。このため開発の当初より航空機関係者から熱心な働きかけがあり、多くの部品が成形実験され、実用されてきた。

図 8 はダクトジョイントの成形品である。

材料寸法、材質、放電条件等を表 1 に示す。

表 1 成形品の材料と成形条件

図	部品名称	材 料 寸 法	材 質	放 電 条 件			焼 鈍 回 数
				充 電 電 圧	容 量	放 電 回 数	
8	ダクトジョイント	30φ×1.3t×120ℓ	ジュラルミンチューブ	18KV	50μF	1回	0
9	フレキシブルチューブ	50φ×0.8t×250ℓ	SUS27T	25	60	2	0
10	カバ ー	1.6t×150φ	SUS27P	25	70	4	2
11	角 チューブ	60φ×1.4t×125ℓ	A ₁ T-O	20	50	1	0
12	X線管用部品	40φ×0.8t×90ℓ	コパースチューブ	10~30	20~50	3~4	2~3
13	熱交換器用部品	17φ×0.5t×307ℓ	BsT ₂ -1/2 H	20	50	2	0
14	波 管	18φ×0.5~1.2t×190ℓ	SUS27T	18~25	60~70	2	1
15	ビード付チューブ	22φ×1.0t×160ℓ	SUS27T	20~24	40	6	1
16	オモチャの機関車	25φ×1.0t×168ℓ	BsT ₂ -1/2 H	15~25	60	4~5	3~4

放電成形法の採用による工数の減少は申すまでもなく、精度の不足が原因となっていた不良率は極度に低下した。

図9はフレキシブルチューブシャフトの成形品を示す。図において(A)は完成品を示し、(B)はその予備成形品を示す。放電成形機はこの予備成形品に応用された。この製品は電源部の出力を増加すれば一度の放電で十分成形できるのであるが、材料と型の間の空気の圧縮による温度上昇のため成形品の表面に局所的な変色がみられたので二回の放電で成形された。

図8 ダクトジョイント

図10はカバー、図11は角チューブでこれらはいずれも航空機部

(A) 完 成 品

(B) 予備成形品

図9 フレキシブルチューブシャフトの成形品

品で、むづかしい成形上の技術の必要もなく容易に成形された。

チューブはこれまで被覆および構造用部品として主として用いられ成形材料の対象とはならなかった。そしてチューブの成形は困難なものとき

図 10 カバーの成形品

図 11 角チューブの成形品

図 12 X線管用部品

図 14 自動車用部品の波管

図 13 熱交換器用部品

図 15 ビード付チューブ

れ、設計上あまり取入れられなかった。しかし放電成形機の出現によってチューブ成形が広い分野でおこなわれるようになった。

図 12 は X 線 管 用 の 部 品 を 示 し、図 13 は 熱 交 換 器 用 の 部 品 を 示 す。こ の は か 図 14 に 示 す 自 動 車 用 部 品 の 波 管、図 15 は ビード付チューブである。図 16 は高級のオモチャの蒸気機関車の胴体の部分の成形例である。なおこの成形品は多くの中間焼鈍工程と放電回数を必要とし現段階では工業的に応用することは適切でないが放電成形法を利用すればこのような複雑な成形も可能であることを実証した良い例であろう。

3.2 板金成形における新しい応用分野

板金成形の分野においては古い歴史をもつほかの多くの成形機に押されてチューブの張出し成形におけ

図 16 高級オモチャの蒸気機関車の胴体部

るほど能力は認められなかった。しかしながら、この成形機の特長を十分に活用した応用例の一つとして最近放電加工機の加工電極の成形がとりあげられている。

放電加工機はこの数年間に鍛造型・ゴム型・ダイキャスト型・プレス型など各種工業に使用されている金型の型彫りにめざましい普及をみせている。しかしこの優れた加工技術も加工電極の製作という大きな難かしい問題をかかえている。現在この加工電極は消耗の少ない材質として銅がよく使用されており、従来その製作方法としては一般に銅やグラファイトを種々の工作機械による切削加工あるいは電鋳などの多くの方法が使用されてきた。これらはいずれも製作が困難で繁雑なうえ、長い作業時間を要して高価なものとなっていた。そして放電加工機の今後の普及は加工電極の製作の方法によって決まらるであろうとさえいわれていた。

放電成形機がゆうしているほかの成形機にみられない。

- 液体がポンチの役目をなし、形状の複雑な成形ができる。
- 成形の精度がきわめて高い。
- 繰返し放電ができる。

などの特長は加工電極の製作に新しい分野を開いた。この方法は単に加工電極の製作を容易にしたばかりでなく材料費の逓減、製作時間の短縮、熟練者の不要なことなど多くの利点がある。

図17はカメラカバーのプレス型を放電加工するための加工電極とこの電極を成形するために使用された型を示す。材質は市販の電気銅板を使用し、ブランクの形状は長さ145mm、巾45mm、板厚は1mmである。充電電圧20KV、コンデンサ容量70 μ Fの放電条件で中間に4回の焼鈍をおこない6回の放電で成形は完成した。銅は一般に加工硬化が大きいので放電回数は成形に必要な焼鈍の回数に大きく影響をうける。

放電成形法は成形時の発生圧力の性質上、一般に深絞りなどの成形には適していない。したがって上記のカバーの成形においてもブランクより直接放電成形するよりも、あらかじめ機械的成形機でプレフォームをおこなうほうが能率的であり、より効果的である。そしてこのプレフォームはこれまでの機械的成形機でおこなわれていたようにむづかしいものでなく単に成形完成時の板厚減少を少なくするため型の中にあらかじめ材料を押込むという程度でよい。したがって型を別に製作する必要もなく、ポンチは仕上型に大体合った木片でもよい。SHE-45型放電成形機はこのようなプレフォームが容易にできる機能をそなえている。

図18は六角ナットの鍛造型を放電加工するための加工電極を示す。外径200mm、板厚2mmの銅板のブランクをあらかじめ外径

図17 カメラカバーのプレス型用加工電極とその型

図18 六角ナットの鍛造型加工電極

100 mm, 深さ 50 mm にカップ状に予備成形した後, 放電成形を行った。放電電圧 15 KV, コンデンサ容量 $70 \mu F$ の放電条件で, 中間に 1 回の焼鈍をおこない 2 回の放電で成形は完成した。

図 19 はノブのゴム金型を放電加工するための加工電極とこの電極を成形するために使用せられた型を示す。外径 80 mm, 板厚 2 mm の銅板のブランクを前記の例と同様カップ状に予備成形したのち, 放電成形を行った。製品は充電電圧 20 KV, コンデンサ容量 $70 \mu F$ の放電条件で中間に 3 回の焼鈍をおこない 8 回の放電で完成された。図に示されているように周囲のひだが精確に転写できるのは放電成形法の大きな特長である。しかしこの部分は材料が変形しているというよりはむしろ局部的に鍛造されており, このため成形には比較的大きなエネルギーを必要とする。

図 19 ノブのゴム型の加工電極とその型

図 20 (A) および (B) はサラダボウルのガラス用金型を放電加工するための電極を示す。いずれも肉厚 2 mm の銅板を使用しプレフォームせず直接に放電成形したものである。充電電圧 25 KV, コンデンサ容量 $70 \mu F$ の放電条件で (A) は中間焼鈍 4 回と 8 回の放電で成形され, (B) は中間焼鈍 12 回と 20 回の放電回数で成形せられた。ガラス用金型および鍛造用金型はその部品の生産の過程上同一の多くの型を必要とするので放電成形機の加工電極の製作への利用はもっとも効果的といえる。

このほか成形例としては図 21 の自動車部品に使用されている鍛造用金型の電極, 図 22 のゴム用金型の電極などがある。図 23 および図 24 はいずれも電気機器部品のダイキャスト用金型を放電加工するための加工電極である。図でみられるように形状はきわめて複雑で板材より成形されたものとはおもえない。成形品の先端部は当然のことながらかなりの板厚減少があり, 成形にさいしては厚い板材より焼鈍を繰返しつつ放電回数を重ね慎重に進められた。事実, これらの部品はいずれも板厚 6 mm を使用して, 10 ~

図 20 (A) サラダボウルのガラス用型の加工電極

図 20 (B) サラダボウルのガラス金型用の加工電極

図 21 鍛造金型用加工電極
(自動車部品)

図 22 ゴム成形用金型の加工電極
(自動車部品)

図 23 ダイキャスト用金型の加工電極

図 24 ダイキャスト用金型の加工電極

12回の中間焼鈍をおこない、30回に近い放電を繰返して完成したものである。しかしながらこれまでの方法が数10時間より200時間に近い時間を費して製作されていたのに比較すれば能率は極度に向上したものといえる。

3.3 可動型を利用した新しい成形技術例

液体中に発生した衝撃的圧力を利用して金属成形をおこなう放電成形機の加圧機構はこれまでのほかの成形機のそれと比較して大層相違している。この特異性を利用して、型の組立に新しいアイデアを加えるとこれまでの成形機では不可能なまったく新しい成形技術をおこなうことができる。

この新しい成形技術の具体例の一つとして図25にディスタンスピースの成形を示す。この方法は図に示されているように固定型と可動型の2種の型の組合せでできて

図 25 ディスタンスピース成形の過程

おり、放電により発生した衝撃的圧力を液体を通じてチューブの内面に直接加えると同時にこの圧力を可動型にも加えて運動させ、被加工物に軸方向に力を加えて成形しようとするものである。この方法はこれまでのパイプに内圧のみを加えて成形する方法に比較して成形効率・成形性はきわめてすぐれている。

この成形技術に関してもっとも重要なことは固定型と可動型の間隔の（図中の ℓ ）設定である。この間隔が広すぎると変形部分の材料が余り、固定型と可動型の間にはみ出しを生じて成形が不確実となり、また間かくがせますぎると変形部分で過度の張り出しがおこなわれて成形に要するエネルギーは増大し、かつ成形品の肉厚減少が大きくなる。

図26はこの成形方法で成形された各種のディスタンスピースを示す。材料はいずれも電縫鋼管で肉厚2.5 mm、外径27～40 mmで成形後の最大外径は42～62 mmでかなりの伸びを示している。この方法は単にディスタンスピースの成形のみでなく各種のチューブの張出し成形に応用され、効果をあげている。

図 26 各種のディスタンスピースの成形品

4. 多量生産用放電成形機の開発

多量生産用放電成形機の開発においてもっとも重要な問題点は充電時間・注排水時間・材料の装填および成形品の取出しに要する時間あるいは型の開閉時間などで構成されている全サイクルタイムの短縮であろう。そしてこの問題の解決に関してはこれまであらゆる角度より多くの人が検討をかさね、かつ効果をあげてきたのであるが部品の寿命に対する信頼度や液を使用するための宿命的な時間の消費すなわち成形時に型に飛散した液の清浄あるいは注排水などの時間の消費は意外におおく、現段階において飛躍的な期待がもてない実情である。

複数同時成形方式は放電成形法の特質を活用し、一回の放電により同時に数個の成形をおこない、実質的にサイクルタイムを短縮しようとする方式である。図27はこの方式を採用した多量生産用放電成形機SHPM-45型の全景を示す。この装置は自動車用部品として使用されている波管の成形の専用機として設計されたもので図28はその成形品を示す。

図29はこの装置の放電槽および型の配列を示す。図に示されているように成形部は縦形で図2のSHP-45型と機構はよく似ている。基台の中央部には四方に開口している放電槽があり、この周囲に一對の割型の片面が各開口部に面して四個固定されている。型のはかの

図 27 多量生産用放電成形機 SHPM-45 型

図 28 成形品（自動車部品）

図 29 放電槽と型の配列

片面はそれぞれ下型に対して可動圧板に固定され、可動圧板の上下運動によって型の開閉がおこなわれる。型締機構は放電時に型が開かないようにウェッジトッグル方式を採用している。

図 30 は放電槽の断面を示す。図に示されているように電極は放電槽の中央で上下に対向して配置され、上部の電極は接地側の極性とし、放電槽の一部がこの役目をしている。このように放電槽の容積を小さくして機械的強度を増すとともに成形効率を良くしている。また上部電極の中心には細い穴がけられ、ここより切断された細線を落下して電極間に導線を張り容易に導線爆発方式が採用できるようになっている。

図 30 放電槽断面図

図 31 は上記と同一の方式を使用したもう一つの多量生産用放電成形機 SHLM-45 型で、この装置は軸受合金のライニングの専用機として設計せられたものである。図 32 はこの装置によってライニングされた軸受を示す。この装置によって軸受のライニング工程は短縮されたばかりでなく軸受合金が薄くてすみ価格が大巾に減減され、かつこれまでの軸受と比較して性能は一段と向上した。

図 31 多量生産用放電成形機
SHLM-45 型

図 32 ライニングされたプッシング

SHPM-45型およびSHLM-45型は複数同時成形方式の採用により多量生産用として実用化に成功し、工場生産機として使用されているのであるが、これらの装置は性能を向上し機能の安定をはかるために電気部品についても検討されている。

充 電 回 路

この装置に使用されている充電回路は図33に示されているように単相全波整流回路方式を採用し、かつ抵抗とリレーの組合せによる定電流充電回路を採用している。

整流器はシリコン高電圧整流器を使用し充電時間の短縮をはかっている。

充電電圧指示用の電圧計はメータリレーを使用し、このリレーによって自動的な充電の停止および放電の始動をおこなっている。そしてこの電圧計の電圧設定ノブによって充電電圧を連続的に任意の値に選択ができるようになっている。また不慮の事故による装置の定格以上の充電を防止するためさらに時間による保護回路も加えられている。

現在この装置の充電電流は低圧側で約45Aであり装置の最大定格の充電は約8秒で終了する。もちろん充電器の容量の増大により時間の一層の短縮も可能であるがほかの操作時間とのバランスおよび価格などの関係でこの値を採用している。

放電始動用スイッチ

放電始動スイッチは空気圧などの駆動機構により電極を移動して回路の開閉をおこなうもっとも簡単な方式が採用されている。これは多量生産機のスイッチとしての要求である寿命、安定性および低価格の条件に最適とみなしたからである。しかし寿命に関しては電極の消耗があり、これは今後の問題となろう。

この種のスイッチは元来放電時に発する大きな爆発音のために放電成形機の使用には敬遠されてきた。しかしこの装置に使用されているスイッチは図34に示されているように接触部を絶縁物で蔽い音の発生を防ぎ良い結果を得ている。またこのようなおおいを用いた場合、内面が放電時に溶射された電極金属のガスで絶縁耐力が低下し、やがては絶縁不良をまねくのでシールド環をつけ、さらに送風機で内部の空気を循環している。

キャパシター

キャパシターは本質的にはこれまでプラズマの研究に使用せられてきた

図 33 充 電 回 路

図 34 始動用スイッチ

衝撃大電流放電用キャパシターと同一のものである。しかし使用目的の相違から放電成形機に使用されるキャパシターは単位エネルギー、電圧自己インダクタンス、寿命および価格などもっとも適切なものが選ばれている。

多量生産機に使用せられているキャパシターのもっとも重要な問題は寿命である。そしてこの寿命は定格電圧と使用電圧の比、放電電流の周波数、減衰率などの使用条件に大きく影響される。図35はこの関係を示す。また繰返し頻度が多くなると内部コロナの発生による影響も無視できない。図36はこの影響を示した実験結果の1例である。

キャパシターバンクは5 μ Fの単位キャパシターが20個並列に接続され全容量100 μ Fを構成している。2個の単位キャパシターは高電圧端子を互いに向い合わせて配列し、一つブロックを形成し、このブロックは同軸ケーブルによって直接放電スイッチに接続せられている。全容量の調整はこの同軸ケーブルの接続換えによっておこなわれる。

以上述べてきたように複数同時成形方式の採用によって多量生産用放電成形機の開発はその製作の可能性を確証したのであるが現段階においては形状や寸法の限られた特種な部品の専用機にすぎない。現在、この方式を拡張し広く一般の成形に利用できる汎用機の開発をおこなっている。

図37はその成形技術の一例を示す。図に示されているように成形部はSHP-45型と同一の縦型を使用し、基台と圧板には2種の異なった型が配置され、中央には上側および下側に開口を持つ放電槽がおかれている。(A)は成形前の型を開いた状態を示し、(B)は型を閉じた状態を示す。成形は2枚の材料が放電槽の上下に置かれ、放電によって同時に成形される。図はさらに2工程の成形を要する部品が一回の放電で成形の完成している状況を示している。

図38はこの方式によって成形された製品およびその寸法を

図35 振動負荷コンデンサの測定曲線
(日本コンデンサ工業提供)

図36 振動負荷コンデンサの測定曲線
(日本コンデンサ工業提供)

図37 複数同時成形の新しい方式

示す。この製品はこれまで数台の機械的成形機を使用し4工程の成形過程を経て完成されていた。しかもその寸法精度(図中にアンダーラインで示す)にかなりのむらがあり、かつ突出部(図中のA)の肉厚減少が大きく成形能率はかなり悪いものであった。上記方式

図38 成形品とその寸法

の採用により成形工程が短縮されたばかりでなく、問題点はすべて解決された。そしてこの方式を採用した板金成形用の標準型装置の設計が進められている。

5. 結 論

放電成形機の開発は長い年月を経てようやく実用期に入り、中小量生産用成形機として各種工業部品の成形に利用され、その応用分野も定着化し、さらには新しい型技術の活用によって一層の拡大を期待できることは本文で十分了解頂けたことと思う。

多量生産機の開発に関してはまだ専用機の段階にとどまり、そしてそれも複数同時成形方式という本筋を逸脱したこそくな手段であり、この批判は甘んじなければならないと思う。しかしそれがたとえ本筋を逸脱したものにあるにせよ、結果的には量産が可能であり、かつ市場でうけ入れられていることに意義を認めて頂きたいと思う。

放電成形機のより一層の発展を思うとき、そして詳細にわたって検討を重ねるときいまだ多くの問題点は残されている。これは放電成形機の歴史の浅さを物語るものであり筆者も十分認めるところである。

筆者はこれらの問題の解決に努力を重ね近き将来にはほかの工作機械にとらぬ多量生産用の汎用機の出現を約したいと思う。皆様のご指導とご協力を衷心より願うものである。

6. 謝 辞

放電成形機の開発にあたりひとかたならぬご指導とご援助を賜りました京都大学教授奥島啓式博士、山田敏郎博士、同志社大学教授元木幹雄博士、名古屋工業大学教授三好保憲博士、当社取締役中堀孝志博士に衷心より感謝の意を表します。

(1969年6月9日受付)

参 考 文 献

- 1) 佐野：向坂“放電成形法Ⅰ”島津評論 Vol. 19, 1962
- 2) 田近，向坂外“放電成形法Ⅱ”島津評論 Vol. 20, №1 1963
- 3) 向坂，田中“放電成形法Ⅲ”島津評論 Vol. 24, №1, 1967
- 4) 青木，向坂外“放電成形のバルジ加工”精機学会前刷 305 1968
- 5) 青木，向坂外“放電成形のバルジ加工Ⅱ”精機学会前刷 8 1968
- 6) 青木，向坂外“放電成形のバルジ加工Ⅲ”精機学会前刷 208, 1968