

# 直接通電方式の電磁成形法の基礎的技術の確立とその実用化に関する研究

電気通信大学機械制御工学科

教授 鈴木 秀雄

(昭和63年度研究開発助成 AF~88014)

## 1. 研究の背景

製品の多品種少量生産の多様化に伴って塑性加工法においても新たな加工法の要求が増大している。その一つに高エネルギー加工法に属する電磁成形法がある。電磁成形法は他の塑性加工法に見られないすぐれている点を有している。現在工業的に利用されている電磁誘導方式は、力の源となる磁界の発生にコイルを使用しているため、コイルの耐久性に問題があることや、電気伝導率の低い材料の加工には適さないために、実用的には特殊な加工分野のみにおいて用いられているだけである。一方、電磁成形法には、直接通電電磁成形法も考案されており、この成形法は耐久性が問題となる成形コイルを必要とせず、被加工材の電気抵抗もあまり影響を受けにくい等、利点を有している。しかしながら、直接通電電磁成形法は、成形装置作成が従来の電磁誘導方式と比較して困難なことなどから実際の成形がなされたりしたことはなく研究もなされていない。

## 2. 研究の目標

直接通電電磁成形法においては、成形部（被加工材を電極）のインピーダンスが極めて小さいために、電磁成形装置のインピーダンスを極めて小さくするための配慮が不可欠である。そこで、電磁成形回路のインピーダンスを極めて小さくするための電磁成形装置の作製について検討を加える。また、直接通電電磁成形における成形の基礎研究として、本装置を用いて円管のバルジ加工を

取り上げ、加工条件が電流波形や成形形状にどのような影響を与えるかについて実験的に考察を加える。さらに、解析的検討を加えるために電算機によって数値計算を行い、この成形法のメカニズムの特徴をより明らかにする。

## 3. 研究成果の概要

### 3.1 直接通電電磁成形装置と成形部

本実験においては、成形装置を作製することも1つの目的である。本電磁成形装置の基本的な構成を電気回路で等価的に示すと図1のようになっている。基本的に、この電磁成形装置はコンデンサC、放電スイッチG及び成形装置の電気抵抗RとインダクタンスLより構成されている。この装置において、インダクタンスLと抵抗Rを可能な限り小さくしないと、電磁エネルギーが円管の成形に有効に作用せず、これが塑性変形エネルギーへと変換されることがなくなる。そこで、本成

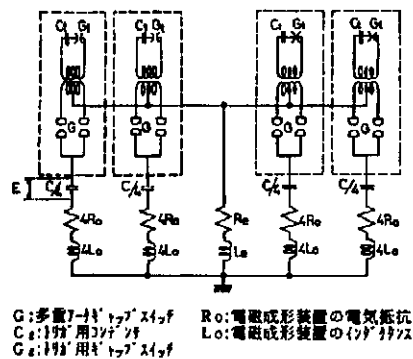


図1 直接通電電磁成形の等価回路図

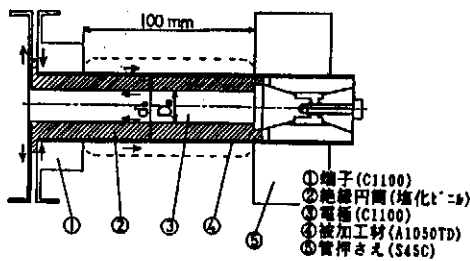


図3 直接通電パルス成形部

形装置においては $200\mu\text{F}$ のコンデンサを4並列に結合するとともに、放電スイッチに低インダクタンスの多重(4点)アーク・ギャップスイッチを使用し、さらに成形装置の配線も低インダクタンスになるように配慮している。実際の加工に使用した直接通電電磁成形装置とパルス成形された円管の写真を示したものが図2である。円管のパルス加工において、本実験の成形部を示したものが図3である。電極③の外側に被加工材④を配置し、コンデンサの放電過渡現象によって生ずる大電流が、図の矢印の方向に、電極端子①から被加工材、そして電極へと流れる。このとき電極と被加工材に流れる電流が逆向きとなるために、両者の間に反発力が生じ、被加工材は同図に示される破線のような形状にパルス成形される。

### 3.2 加工条件と電流波形

直接通電電磁成形法において力の源となるのは、電極や被加工材に流れる電流値によって一義的に決定される。そこで、その電流値が加工条件によってどのような影響をうけるかについて調べた。この成形は電気回路的には、コンデンサC、イ

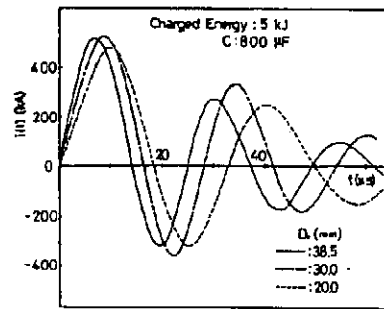


図4 直接通電方式の電流波形

ンダクタンスLと電気抵抗Rにおいて、コンデンサCの放電過渡現象であるため、その波形はサイン波に減衰が加わったものとなる。この電流波形をサーチコイルによって測定した結果を図4に示す。同図においては充電エネルギーを5KJとし、電極の外径寸法を変えたときのものであり、電極の外径が小となるにつれ、電極の電気抵抗やインダクタンスが増加するために、電流波形の波高は減少し、周期は長くなる傾向がある。この場合には、最大電流値 $i_{\text{max}}$ は550 KAにも達している。また、最大電流値 $i_{\text{max}}$ は試料円管に作用する磁気圧力の指標となる。そこでパラメータを電極の外径として、充電エネルギーに対する $i_{\text{max}}$ の関係を示したものが図5である。充電エネルギーの増加につれて、また電極外径が大きいほうが $i_{\text{max}}$ は大となっている。

### 3.3 加工条件と成形形状

円管のパルス成形において充電エネルギーがその成形形状に与える影響を示したものが図6である。同図はパルス成形形状の中央部より右半分の形状を表している。図4にもみられるように充電エネルギーが大となると、成形部に流れる電流も大となり、円管内壁に作用する磁気圧力も大となるために、パルス成形量も大となっている。また、電極の外径寸法の差が成形形状に与える影響について示したものが、図7である。図5に見られるように、電極の外径が小となるほど、成形部に流れる電流は減少し、試料円管に作用する磁気圧力も減少する。そのために図7に示されるように、電極

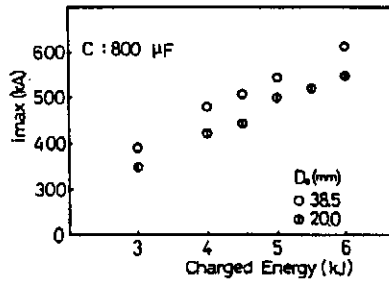


図5 電極外径寸法の差による最大電流値

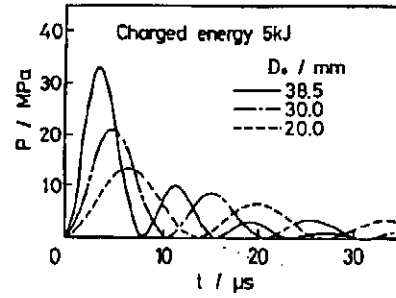


図8 時間に対する磁気圧力の変化

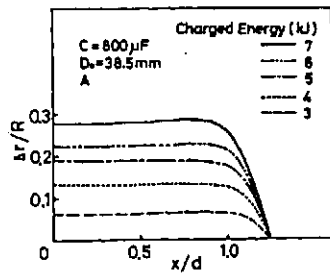


図6 充電エネルギーに対する成形形状

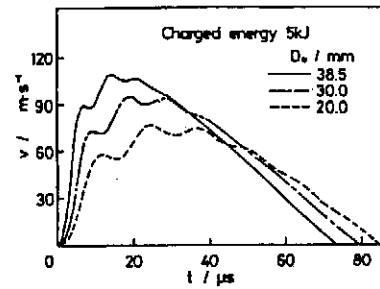


図9 管中央部の半径方向速度

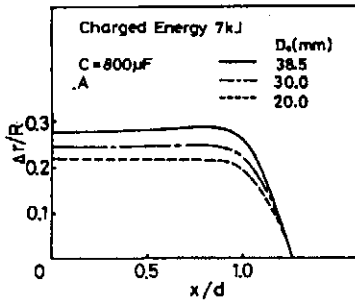


図7 電極の外径寸法に対する成形形状

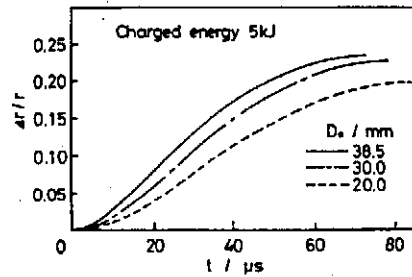


図10 管中央部の半径方向変位

の外径が小となるほどパルジ成形量は減少する。

### 3. 4 数値解析

この直接通電電磁成形についての数値解析を行った。電流波形については、RLCの放電過渡現象を解くことによって求めた。また円管の変形については、1) 薄肉円管であるために膜理論に従うとし、2) 等方性材料である応力-ひずみ関係は $n$ 乗硬化則に従うとし、3) ひずみ増分理論によって Von Mises の降伏条件に従うものとして、有限要素法を用いる変形過程について解析を行なった。

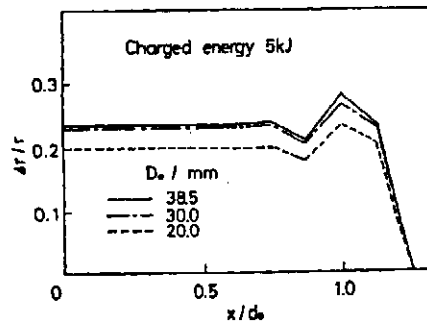


図11 計算による変形後のパルジ形状

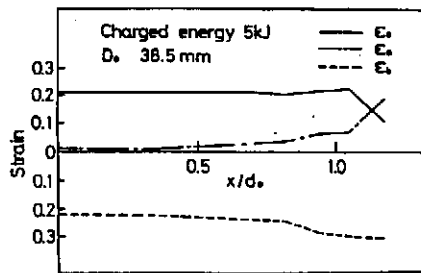


図12 計算による3方向のひずみ分布

解析結果において求められた例を示したものが図8, 図9, 図10, 図11, 図12である。図8は時間に対する磁気圧力の変化、図9は管中央部の半径方向速度、図10は管中央部の半径方向変位、図11は変形後のバルジ形状、ひずみ分布をしめしたものが図12である。ここで、変形における最大変形速度は100m/sに達しており、変形は70 $\mu$ s終了しており、ひずみは平面ひずみ状態となっている。

#### 4. 発表論文

1. 村田・相沢・鈴木：“板状スパイラルコイルによる円管のバルジ加工”平成元年度塑性加工春季

講演会1989. 5. 607-610

2. 村田・相沢・鈴木：“円管の直接通電によるバルジ成形に関する研究”平成元年度塑性加工春季講演会1989. 5. 603-606

3. 村田・相沢・大段・鈴木：“直接通電と電磁誘導による円管のバルジ”第40回塑性加工連合講演会1990. 10. 623-626

4. 村田・早坂・鈴木：“直接通電電磁成形法における円管のバルジ成形解析”平成2年度塑性加工春季講演会1990. 5. 627-630

5. T. Aizawa, M. Murata, H. Suzuki: Electromagnetic Tube Bulging by Direct Electrode Contact Method on Solenoidal Method, Proceedings of the Third International Conference on Technology of Plasticity, 1990. July. 1593-1598

(口頭発表論文中に貴財団に対する謝辞を欠落させてしまいました。これから順次印刷論文としていくつもりですので、その時点で謝辞を掲載しますので御容赦下さい。)