

---

# 微小穴打抜きシステムの開発

増沢 隆久\*

## 1. 緒言

板材に対する穴加工の方法として、打抜きは最も生産性の高いものの一つである。また、工具であるダイ、パンチ、およびその合せ精度が高ければ、高精度の穴加工が可能であり、部品の生産加工において主要な位置を占めている。

一方、各種機器の小型化に伴い、部品に対する穴加工も微細な寸法のものが要求されるようになった。直径1mm程度の穴は既に普通となり、昨今は直径200 $\mu\text{m}$ から100 $\mu\text{m}$ 、ハイテク機器の部品などでは50~30 $\mu\text{m}$ といった要求まで表だって聞かれるようになった。

このような微細な寸法になると、従来の打抜きの概念で構成されたシステムではいろいろな点で困難を生じ、加工不能であったり、可能ではあっても装置の納期、メンテナンスなどで著しい負担を覚悟しなければ導入できないほどの障害が顕在化している。

本報告では、筆者の研究室で微小穴打抜きのために特に開発した、従来とは異なる打抜きシステムを紹介し、その実用性を検証する。

## 2. 微小穴打抜きの難しさ

### 2.1 ダイセットの作成

最初に、微小穴を打抜きにより加工するのが困難であるのは、どんなところから来ているかを整理してみる。

従来、打抜きを行なう場合には次のような手順を経た後、実際の打抜きが実行される。

- 1.パンチを作成する。
- 2.ダイを作成する。
- 3.パンチとダイを組合せたダイセットを作成する。
- 4.ダイセットをプレス機械に取り付ける。  
(1と2は逆の順序で、もしくは並行して行ってもよい)

打抜く穴の径が非常に小さくなると、上の手順のうち1~3の各工程にそれぞれ困難が生ずるようになる。

まず、パンチの作成であるが、多くの場合、切削、研削、ワイヤEDMなどにより加工されている。しかし、仮に直径100 $\mu\text{m}$ のパンチが必要だということになると、切削やワイヤEDMは適用困難であり、残る研削にしても、特別に吟味された研削盤により、極微細砥粒の砥石を用いて加工しなければならない。しかも、研削力によりパンチ材料の変形がおこるし、座屈を考慮したパンチ形状に対応できる微細な形状を持つ砥石が必要であり、そのツルーイングなど、容易ならざる多くの問題を抱えることとなる。

次に、ダイの作成であるが、従来の切削、研削、EDM、ワイヤEDMなど、いずれにしても直径100 $\mu\text{m}$ ぐらいになると工具の入手、セッティングなどが難しくなり、高精度で加工するのは容易でない。

そして、最も困難な問題は、3のダイセットを組み立てるところに存在する。

後述するように、直径50 $\mu\text{m}$ 程度まで、打抜きの現象そのものは大寸法の場合とあまり変わらない

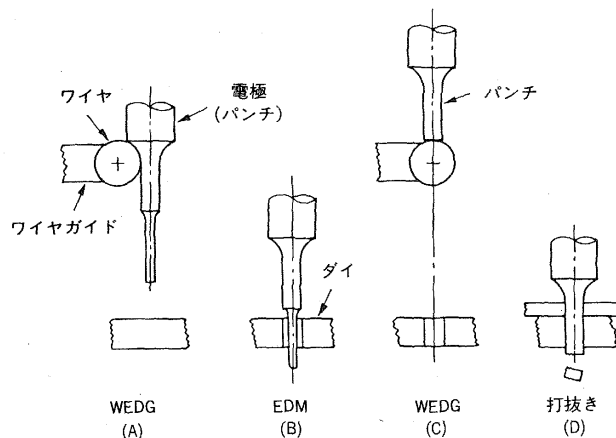


図1 マイクロ打抜きシステムの工程

い。ということは、パンチとダイのクリアランスは、打抜き寸法にだいたい比例した大きさとすることが必要となるわけで、板厚1mmの場合に50 $\mu$ mのクリアランスでよかったとすれば、板厚50 $\mu$ mならおよそ2.5 $\mu$ mのクリアランスが適当ということになる。このような小さいクリアランスそのものも問題であるが、その合わせるべきパンチが例えば直径100 $\mu$ mといった非常に細いものであるため、少しの力で変形、破損する恐れがある。肉眼では存在がやっと確認できる程度の小さなものであるから、これを当らないように、所定のクリアランスを周囲均一に保つように保持固定するというのは、高度の熟練を要する作業となる。

## 2.2 再研摩

プラスチック等一部の材料を除き、微細な打抜きを行なう場合には工具の寿命が短い。特にパンチは摩耗によるわずかなグレでも、直径に対し相対的に大きいため大きく影響するので、早めに交換または再研摩が必要となる。このために、前述の困難なダイセット組み立て調整を頻繁に行わなければならない、生産性を大きく削ぐこととなる。

## 3. 微小穴打抜き用一貫システム

### 3.1 プロセス概要

上記のような多くの問題点を解決するには、従来のダイセット作成-打抜きのプロセスを根本的に微細穴打抜き用に改め、再構築する必要がある。このような考えにより新たに構成したマイクロ打

抜きプロセスを図1に示す。全プロセスは以下の4段階に分けられる。

- A. WEDG (後述) によりダイ加工用電極を作成する。
- B. EDM によりダイを加工する。
- C. WEDG により使用済み電極をダイに再成形する。
- D. 打抜きを行う。

このプロセスで特徴的なのは、ダイセットの組み立て、調整が除かれている点である。つまり、工程AからDまで、一貫してパンチの中心軸とダイの中心軸は共通かつ不変であるから、パンチとダイが出来上がった時点で型合せは完了していることになり、特別な組み立て、調整が必要無い。そして、パンチ、ダイは打抜き装置の上で製作されているので、特にダイセットというユニットを構成する必要も無い。このようなプロセス構成が可能となるのは、打抜く穴が微小なため、打抜き力も小さくてよく、プレス機械のような強力な専門的装置を用いなくてもよいからである。

また、これらの工程に付随する作業はパンチ、ダイの素材取り付け、打抜き材料供給、製品取り出しのみであり、ほとんど人手を介さない。

### 3.2 WEDG

本プロセスでは工程A、CでWEDGという加工法を採用している。本来ならば研削が適用されると考えられる工程であるが、非常に細い電極やパンチは研削力により曲げられる恐れがある。ま

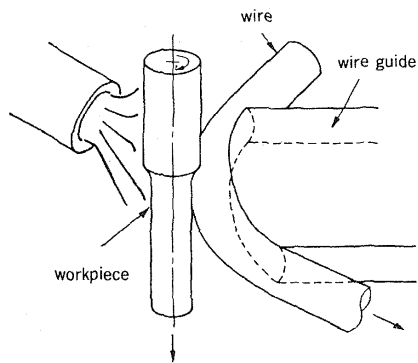


図2 ワイヤ放電研削法  
(Wire Electro-Discharge Grinding)

た、最適パンチ形状を得るための微細形状の砥石を得るのは容易ではない。

WEDGはワイヤ放電研削法(Wire Electro-Discharge Grinding)の略称である。これは、放電加工の一手法で、図2に示すように、ワイヤガイドに沿ってゆっくり移動する細い金属ワイヤを電極として、細い軸の外周を加工する方法である。非接触の放電加工によるため、加工力が変わらない。また、移動ワイヤを使い捨てとして用いるため、加工点においてはそのワイヤ電極の消耗を無視できる。従って、ワイヤとして細いものを用い、ワイヤガイドの位置をNCで制御してやれば細い軸に任意の微細な形状加工を行うことができる。

### 3.3 ダイ加工用電極作成(工程A)

最初に上述のWEDGにより、次工程で工具として用いる電極を作成する。この時、図の例のように、後でパンチとして用いる部分も一体成形しておくことができる。電極部とパンチ部の間に段差があるが、これは工程Bにおける放電ギャップと打抜き用のクリアランスの差を補償するためのものである。(従ってクリアランスが大きめの時は段差無し、あるいは逆段差とすることも有り得る。)

### 3.4 ダイの加工(工程B)

放電加工によりダイを加工する。この工程を含め、本プロセスで用いるWEDG、EDMでは微小エネルギー放電を用いたマイクロ加工の条件を適用する。これにより最良仕上げ面 $0.1\mu\text{m} R_{\text{max}}$ 程度を得ることができる。また、充分シ

ャープなダイスエッジを得ることができる。

なお、放電加工によるため、パンチやダイの素材としては、各種工具鋼はもちろん、超硬合金、焼結ダイヤモンドなど、導電性のあるものは全て適用可能である。

### 3.5 パンチの加工(工程C)

ここで、再び、WEDGを適用して、ダイの加工に用いた電極部分を切り落とす。必要に応じて、パンチ前面、側面の最終仕上げ加工を行うこともできる。(側面加工を行なう場合は、工程Aで見合ったマージンを残しておく。)WEDGの適用により、応力集中や座屈を考慮した最適パンチ形状に加工することが可能である。

### 3.6 打抜き(工程D)

前工程までで、パンチとダイは、所定のクリアランスを持って、正しい位置で対向した状態となっているので、直ちに打抜き素材を供給して打抜くことができる。打抜き力は素材の板厚と打抜き孔径に略比例するので、直径数十 $\mu\text{m}$ の穴では数N(数百gw)程度と小さなものとなる。従って、特に打抜き装置として作られていない、例えばマイクロ加工用放電加工機のようなものでも、主軸の駆動力は充分である。本プロセスにおいては、装置の打抜き機能は必ずしも最重要と考える必要はない。つまり、本プロセスで用いるのは、工具素材と打抜き素材を供給すれば打抜き製品が得られるような、FMS的装置であって、従来のプレス機とは異なっている。

### 3.7 パンチの再研磨

パンチが摩耗した時には、パンチ先端の平坦部を少し落としてやれば再使用できるが、従来、ダイセットの分解と再組み立てが必要であった。本プロセスでは、工程Dの繰り返し中に暫時工程Cに戻り、WEDGによる端面加工を行なってから再び工程Dに進めばよい。所要時間は数分である。

### 3.8 ダイの交換

ダイが摩耗した場合はパンチのように簡単に再研磨することはできない。そこで、ダイ素材を交換して工程Aから改めてやり直すことになる。工程AからCまでの所要時間は1時間程度である。

## 4. 試作装置による基礎実験

### 4.1 放電加工機での試験

前述のように、マイクロ打抜きでは打抜き力が小さいので、本プロセスの実現可能性を調べるための試験は、工程 A から C までを実行しやすい放電加工機を用いて行なった。図 3 に、厚さ 50  $\mu\text{m}$  のリン青銅板に打抜いた  $\phi 50 \mu\text{m}$  の穴の例を示す。このように、直径数十  $\mu\text{m}$  の打抜きが実際に可能であることがわかった。また、クリアランスの設定や、パンチ形状の生成などが自由に行えることも確認できた。図 4 は、この打抜きを行った際の荷重変化を示すもので、最大打抜き荷重は普通の寸法の打抜きから推定した値に近いものとなっている。

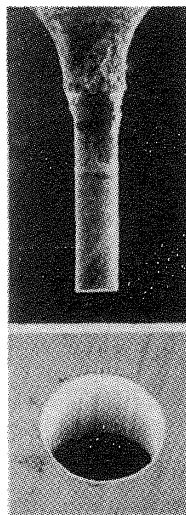


図 3 製作したパンチと打抜き穴 ( $\phi 50 \mu\text{m}$ , 工作物: リン青銅)

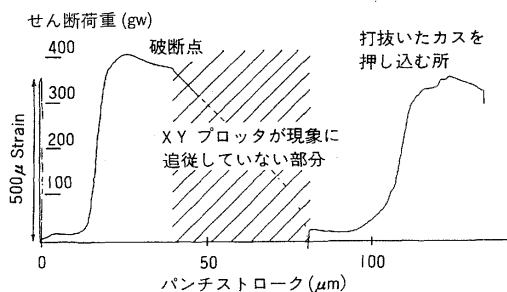


図 4 マイクロ打抜き時の荷重変化 ( $\phi 50 \mu\text{m}$ , 工作物: リン青銅)

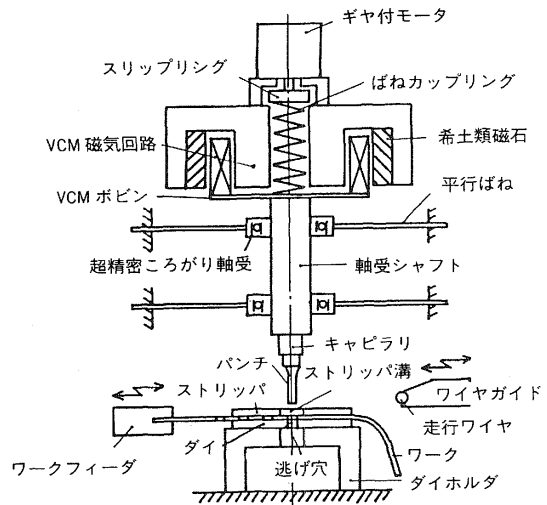


図 5 マイクロ打抜き専用装置

### 4.2 専用機による試験

本プロセスは、電極成形機能のある放電加工機上でも実行できることが分かったが、打抜きの利点である高生産性を発揮させるには、パンチの動きをより高速にしなければならない。そこで、WEDG、EDM の機能を付加した打抜き専用機を試作し、そのようなシステムの実現可能性を調べた。図 5 は試作装置本体の断面略図である。主軸（打抜きヘッド）はボイスコイル駆動により、WEDG、EDM のギャップ制御と打抜き時のパンチ駆動の両機能を兼ねる。構造を簡単にし、高精度を維持するために、すべりやころがりによる案内の代わりに板バネにより主軸の軸受けを支持する機構とした。このためストロークは 2mm 程度しかとれないが、図 1 のプロセスを実行するための必要条件是満足している。駆動力がやや弱いため、本装置での打抜き対象はポリイミドシートとした。

厚さ 50  $\mu\text{m}$  のポリイミドシートに  $\phi 50 \mu\text{m}$  の穴を連続的に 1 万回程度打抜いた結果、かじり等のトラブルもなく、パンチ摩耗もほとんどなく、実用性が実証できた。

また、WEDG の異形断面の細軸成形機能を利用して、異形断面のパンチ・ダイの組合せによる打抜きも試みた結果、異形断面穴の打抜きにも成功した。

打抜いた穴の断面図と、その外観を図 6 に示す。

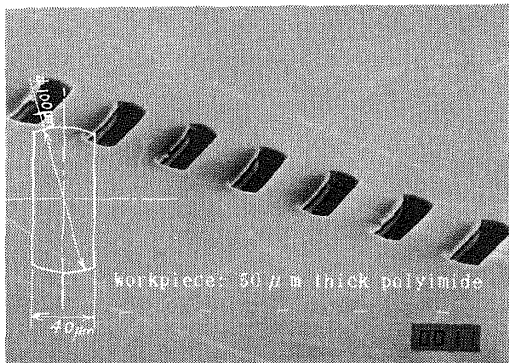


図6 異形断面穴打抜き例

### 5. 逆テーパ対策の試み

本プロセスではダイ加工を切刃側から行っている（工程B）。放電加工で穴加工を行なう場合は通常入口側の径が出口側より大きくなる。1～2回の仕上げ加工を行なうことでこの直径差を1μm以下にすることも可能であるが、出口側の方を大きくすることはできない。つまり、図1のプロセスそのままの形では逃げ角を持つダイは作成できない。

逃げ角付きのダイが得られれば打抜き力やカス上り、工具寿命などの点で有利なので、そのための一手法を試みた。

図7に試作した装置の概略を示す。ここで、前出の試作装置との大きな違いは、ダイを保持する台を球面座に据えて、任意の傾き角で回転できるようにした点である。球面座の中心の位置をダイの上面に合せておくことで、逆テーパ、つまり逃げのあるダイを得ることができる。工程Bでは保持台を傾け、かつ回転させ、工程Dでは傾きをもどし、水平にして打抜きを行なう。

上記装置で実際にダイセットの作成を行なった。図8に本装置を用いて揺動角（揺動体の傾き角）5.7°で加工したダイの一例について上面（パンチ側）から見たところ（図a）および下面（裏側）から見たところ（図b）を示す。テーパに加工されている様子がよくわかる。このように、本装置により正の逃げ角を持つダイの加工が可能であることが確認できた。

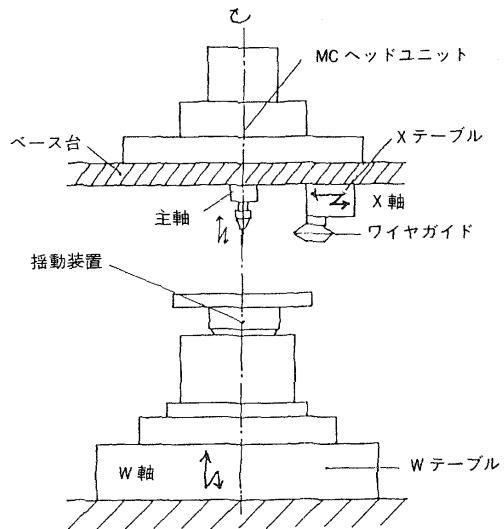


図7 マイクロ打抜き装置の主要部（逃げ角付きダイ対応型）

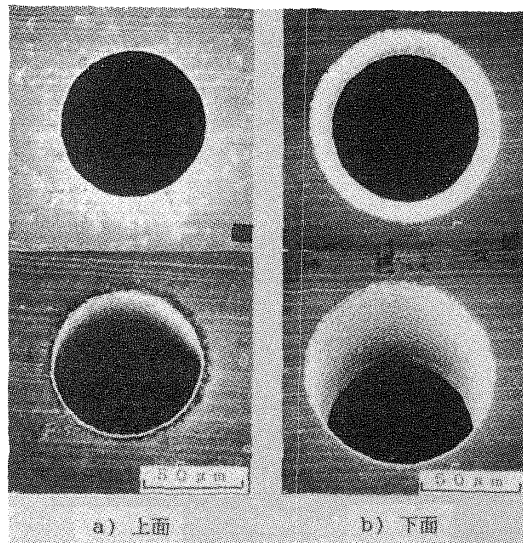


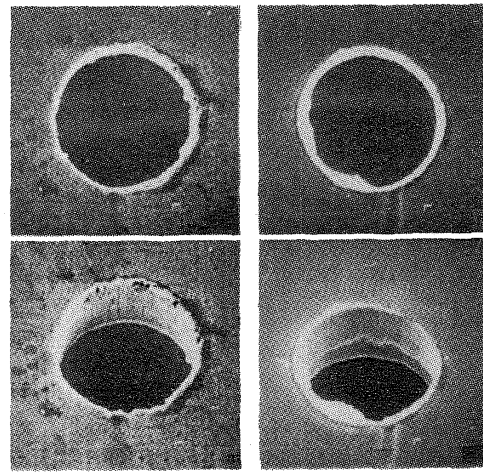
図8 逃げ角付きダイの外観（逃げ角：5.7°）

上のようにして作成した正の逃げ角を有するダイを用いて実際に打抜きを行い、EDMによる自然の逃げ角（負）の場合と比較した。

まず、打抜き力に対する影響を調べるために、準静的に打抜きを行い、パンチを駆動するコイルの電流を測定した。工作物としては純アルミニウム（板厚50μm）を用いた。

図9 aに、逃げ角が負の場合のコイル電流の時間的変化をいくつかのクリアランス（対板厚で表示）の場合について示す。また、図9 bに逃げ角が正の場合について同様な実験結果を示す。なお、パンチ径は温度その他の影響により若干ばらついているが、およその傾向は読とることができる。図でコイル電流が小さくなる方向が打抜き力（下方への駆動力）の増大を示している。両図を比較すると明らかなように、正の逃げ角をつけたことで、打抜き力の大幅な減少が実現できた。また時間経過をみると、負の逃げ角の場合には打抜き完了後にダイの中にむりやり抜きかすを押し込んでいく様子が見られる。一方の正の逃げ角を与えた場合にはこの押し込み力がせん断力より小さいことが分かる。

せん断力はクリアランスが小さいほど、大きくなる傾向が見られるが、この変化量は逃げ角の違いによる打抜き力の変化に比べるとあまり問題にならない程度であることがわかる。



a) 逃げ角 =  $-0.9^\circ$       b) 逃げ角 =  $4.6^\circ$

図10 打抜き穴の外観

図10に打抜いた穴のダイ側から見た外観のSEM写真を示す。負の逃げ角の場合 a) に見られない破断面が正の逃げ角の場合 b) には観察される。

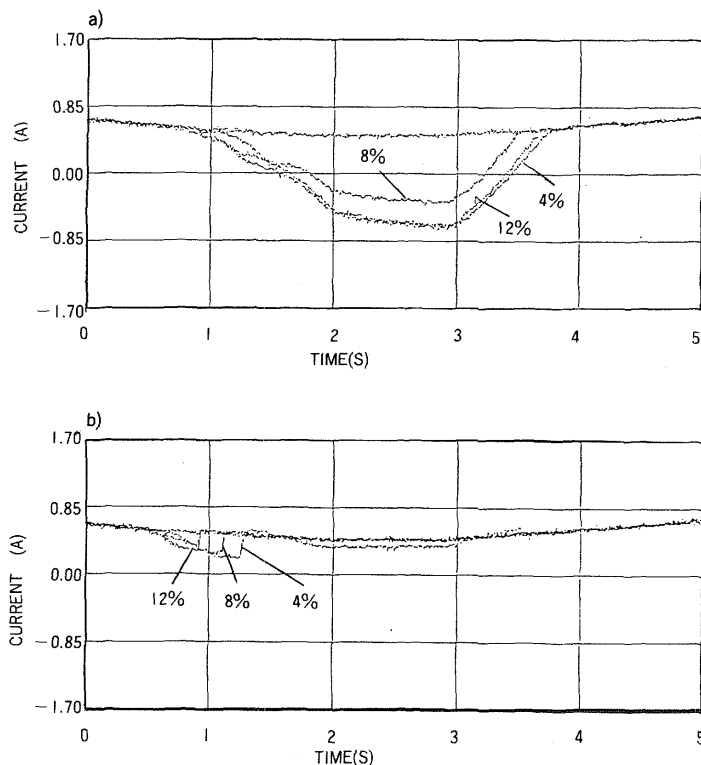


図9 打抜き時の駆動コイル電流変化  
(a) 逃げ角 =  $-0.9^\circ$ 、b) 逃げ角 =  $4.6^\circ$

## 6. システムの特徴とまとめ

今回開発したシステムの主な特徴は次のとおりである。

- 1) ダイ加工時、パンチ成形時、打抜き加工時の軸および穴の中心線の位置が共通なため、パンチとダイの心合せの必要がない。
- 2) ダイ、パンチの製作から打抜きまで、全自動化が可能である。
- 3) 設計後、打抜きまでに要する時間が短い。
- 4) パンチの再研磨が容易で、しかもロス時間が短い。

- 5) 丸穴以外の形状の打抜きにも適用できる。

以上のように、数十 $\mu\text{m}$ 程度の微細穴を、短い準備時間で簡単に打抜き加工することが可能となった。装置を専用のものとするこゝで、実際の生産工程に組入れることができる。また、パンチの摩耗しやすい材料の打抜きにも適用しやすいので、いろいろな分野に応用が広がることを期待している。

なお、本研究の実施にあたって、天田金属加工技術振興財団から研究開発助成を受けた。ここに深甚なる謝意を表する次第である。