

## NC ワイヤカット放電加工に関する考察

### ——銅・黄銅ワイヤ電極の加工 特性比較実験などについて——

技術第2部開発技術課 吉田 三郎, 三輪 政司

#### まえがき

最近の金型製作技術は、加工工程のあらゆる面で効率化と高精度化を目指しており、新鋭設備の導入、新しい管理方式の採用により体質を改善させ、厳しい低コスト、短納期、高品質の要請に対して、積極かつ敏速な取り組みを行っている。

ワイヤカット放電加工(WCEDM)も、その対応の一端を担うものであるが、加工機の性能向上、機能拡充、機種増大という能力面での技術進歩が高く評価されて、実働台数は著しく伸び、この加工法の需要は増大し続けている。そして、このような加工機システムの充実と平行して、学界における研究成果も刻々発表されている。

実用面では、こうした技術動向を先導して、一連の加工技術の全体にわたって効果的な活用法の検討が進み、WCEDMの技術向上は総体的に進展を続けている。

本報告は、過去報告を続けてきた作業性の立場に即応した活用面での検討を延長するものであり<sup>1,2)</sup>、昭和54年度に実験、考察を行った。

- ・銅・黄銅ワイヤ電極の加工特性比較実験
  - ・チーバ加工法によるパンチ、ダイの同時加工工程に関する検討
  - ・加工状況遠隔検知装置の一部改造について
- の三つの項目について報告する。

### 1 銅・黄銅ワイヤ電極 の加工特性比較実験

#### 1.1 実験の目的

WCEDM加工工具であるワイヤ電極は、材質的に銅、黄銅、タングステンなどが使用される。これらの電極材料は、各々物理的にあるいは化学的に性質が異なるため、加工上の特性も異なってくると考えられる。そのため、使用に際しては作業性の優劣や加工条件の選定に対して、また、加工する工作物への精度影響などについて

加工特性をあらかじめ掌握しておく必要がある。

さらに、一度使用した電極材は消耗が著しく、線径が不ぞろいで引張強度が落ち、使用状況により継ぎ目なども多く連続した長尺材に保つことは困難なため、消耗品として廃却される。そして、これらの原材料は決して豊富な資源を利用するものでもなく、むしろ省資源を強いられる材料であるため、有効な利用法を探るのは意味のあることである。

このようなことから、通常使用されるワイヤ電極工具の各材質における加工特性を掌握するため、加工実験を行い実験結果について考察を行った。

#### 1.2 実験方法

加工実験に使用したワイヤ電極(以下電極)は、イーデーエム周辺機器販売株式会社製直径0.2mmの銅、黄銅の2種類である。各々の電極仕様は表1に示す。

表1 ワイヤ電極仕様

項目	銅電極	黄銅電極
電極径(mm)	0.2	0.2
一巻の長さ(km)	5.2	5.5
一巻の重量(kg)	約1.5	約1.5
価格(円)	3,750	4,100

加工する工作物には、一般的な金型材料である合金工具鋼SKD11種、HRC58~60を用い、2種類の電極による加工特性の比較を主眼とした。

実験1 従来の銅電極を用いる場合に使用する加工条件下での黄銅電極による加工

実験2 電氣的加工条件の変化に対する黄銅電極による加工

の二つの実験項目について行い、銅電極による加工の場合と比較した。

各実験に使用した工作物の板厚および加工条件の設定値は表2のごとくである。

比較する加工特性は、特に加工速度および表面あらさ

の測定を中心に行い、実験1については実用的な観点から、放電ギャップ量および加工断面形状の比較測定も行った。以下に各実験の方法の詳細を述べる。

表2 加工条件表

実験No.	1	2
加工条件		
工作物板厚 (mm)	13, 30, 50	20, 40
ワイヤ電極送行速度 (m/min)	1~2	1~2
テンスン量 (g)	700	700
無負荷電圧 (V)	190	190
コンデンサ容量 ( $\mu F$ )	0.005~0.155	0.1, 0.04 0.075, 0.015
休止時間 (タップ)	2, 3	3
パルス幅 (タップ)	4, 5	4, 5, 6
ピーク電流 (タップ)	7	5~8
加工電流 (A)	1.0~2.5	0.5~2.5
加工電圧 (V)	135~145	135~145
加工液比抵抗 ( $\Omega cm$ )	$4 \times 10^4$	$4 \times 10^4$

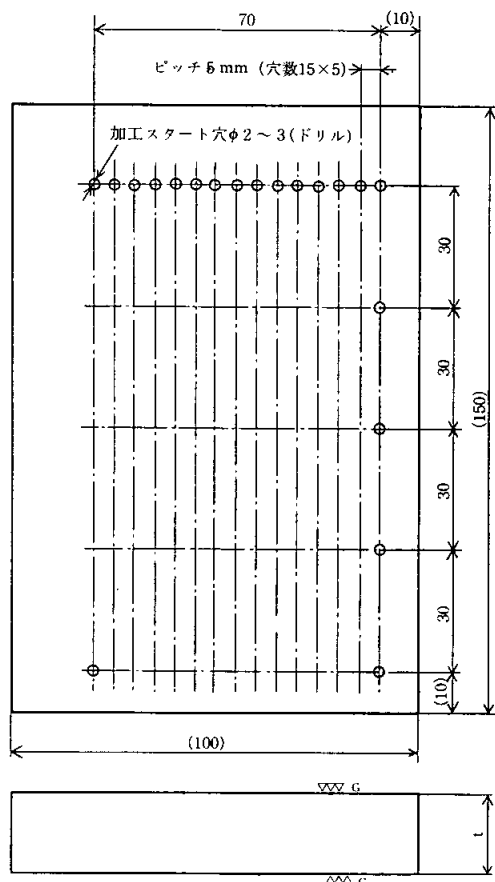


図1 加工実験工作物形状

なお、これらの実験に使用した加工機は、ジャパックス株式会社製 L250A 第30号加工機である。

〔実験1〕

図1のごとく下穴の配列を前加工した形状の工作物を使用し、この下穴を加工スタート点として、図2に示す形状のNCによる切り出し加工を行い、加工速度、表面あらさ、放電ギャップ量の測定を行った。

加工速度の測定は、図2中a~b点に至る加工周長21 mmの加工時間  $T$  (min) を測定し、次式で算出される加工面積速度  $V$  ( $mm^2/min$ ) を求めた。

$$V = 21 \times t / T \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $t$  (mm) は工作物の板厚を示す。

表面あらさの測定は、加工の進行方向と同一な向きに図2中c-c'部を、触針式表面あらさ計にて縦倍率1,000倍、横倍率20倍の断面曲線を得、最大高さあらさ ( $\mu R_{max}$ ) を求めた。

また、放電ギャップ量の測定は、切り出し形状のW寸法をマイクロメータで測長し、

$$g_0 = (3.8 - W) / 2 \dots\dots\dots(2)$$

で算出された片側放電ギャップ量の値を求めた。

加工断面形状の測定は、板厚50mmの工作物を用いて基準面と平行に直線加工を行い、この加工断面の形状を測微指示計を用いて測定した。

〔実験2〕

板厚20mm, 40mmの工作物を用い、設定したコンデ

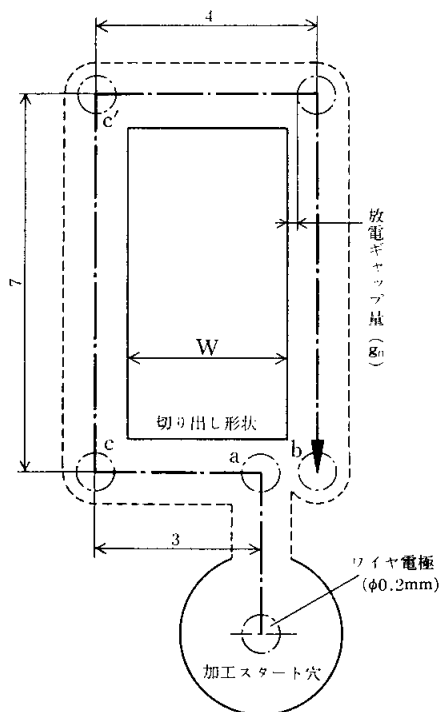


図2 加工形状

ンサ容量，加工電流値において5mmの直線加工を行った。

加工特性は，実験1による場合と同様の方法で加工時間を測定して加工面積速度を求め，加工後加工部を切り出して表面あらさを測定した。

### 1.3 ワイヤ電極の材質分析および予備実験

加工実験を行うにあたり，使用する黄銅電極(試料A)および参考比較試料として，他のメーカー製黄銅電極(試料B)の材質分析ならびに引張試験を行った。

また，加工条件の選定の一要因でもある加工中のテンション量の値に対する加工速度の測定を行った。

材質分析は，X線マイクロアナライザおよび原子吸光分光光度計により，試料A，Bの銅と亜鉛の成分比を測定し，添加元素の有無を定性した。

これらの分析結果は表3のごとくであり，両者とも7-3黄銅で，添加元素はなく極微量の不純物として鉄，マグネシウムが検出された。両電極の表面光沢色が若干異なっているが，これは伸線工程の相違によるものと思われる。

引張強さの測定は，約20mm長の電極を用いて引張試験を行い，応力-ひずみ図を得て引張強さおよび伸び率を測定した。これらの試験結果は表4に示す。銅・黄銅電極とも引張強さの値に大差はないが，黄銅電極は破断に至るまでの伸び率が著しく高いことがわかる。たとえば，両手に電極を握って引っ張った場合，銅電極は簡単に切ることができるが，黄銅電極はなかなか切ることができないという原因がここにある。

テンション量の値に対する加工速度の測定は，各テン

表3 電極の材質分析

X線マイクロアナライザによる分析(銅，亜鉛の比率)

試料	成分 <sup>1</sup>	
	銅	亜鉛
A	69.3	30.7
B	70.9	29.1

原子吸光分光光度計による分析

試料	不純物	
	Fe (Wt%)	Mg (Wt%)
A	0.0043	0.00065
B	0.0027	0.0005

表4 引張強さ測定結果

項目	種類	
	銅	黄銅
引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	54.1	55.7
伸び率 (%)	2.0	26.5

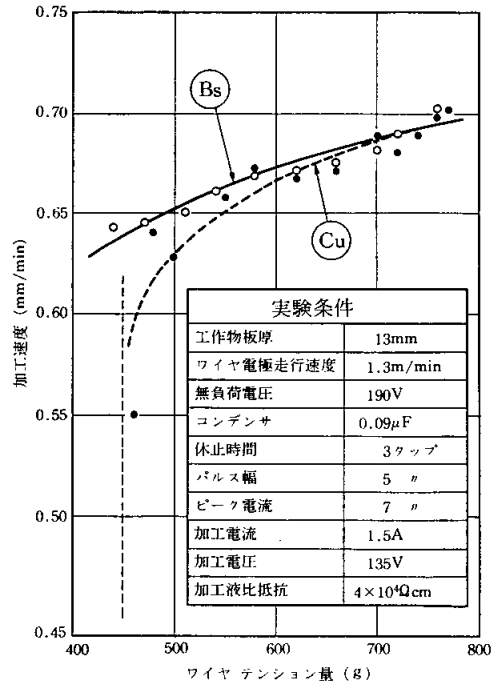


図3 テンション量と加工速度の関係

ション量を設定して板厚13mmの工作物，SKD 11種(HRC 58)を用いて5mmの直線加工を行い，所要加工時間を測定して加工速度を算出して求めた。この実験結果は図3の通りである。

この図から，銅・黄銅電極ともテンション量を高くすれば加工速度は増大していることがわかる。また，黄銅電極は，銅電極に比べてこわさがあるため，テンション量が多少低くとも短絡することなく加工は進行するが，銅電極はテンション量450g以下では短絡のひん度が著しく多く加工不能となる。加工可能な低いテンション量でも，黄銅電極を用いた方が加工速度はやや高く得られることがわかる。

一方，電極の送り出しリールから案内，テンション，巻き上げの各ローラ掛け作業の両電極について比較すれば，黄銅電極による場合はローラから外れることがしばしばあり，スムーズさに欠ける。経験的にやわらかい銅電極による場合の方が作業性に優れている。

### 1.4 実験結果および考察

〔実験1について〕

工作物板厚と加工面積速度，表面あらさ，放電ギャップ量に関する実験結果は図4に示す関係が得られた。この図から，板厚の増加とともに加工面積速度は高く，表面あらさは良くなり，放電ギャップ量は大きくなる傾向を示している。銅・黄銅電極の加工特性を比較すれば，

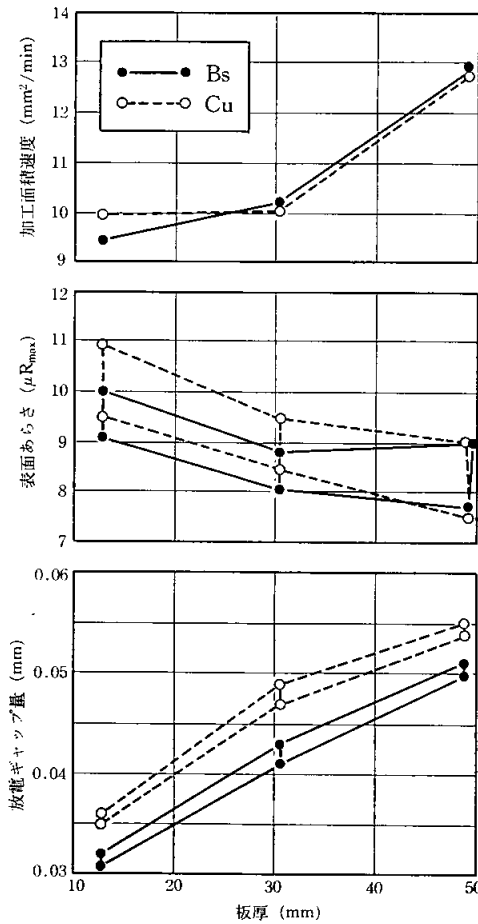


図4 実験1の結果

加工面積速度、表面あらさについては優劣を示す大きな差は見受けられない。表面あらさは板厚が薄い場合、若干ではあるが黄銅電極による場合が良い結果を示している。

また、放電ギャップ量は銅電極の値に対して、黄銅電極は一樣に0.005mm少ない値を示している。この差が生じる結果にはいろいろな原因が考えられるが、予備実験における黄銅電極の伸び率が著しく高いという結果から、加工中テンション量を与えることにより電極が伸び、ワイヤ径が必然細くなったために放電ギャップ量が少なく表われたと考えられる。さらに、黄銅電極は銅電極に比べ、抵抗率が高いため加工放電エネルギーは低く、その影響で放電ギャップ量が少なくなると考えられる。これらの2点が大きな原因であろう。

一方、両電極による加工断面形状の測定結果の一例は図5の通りである。両電極とも加工断面の形状はつづみ形を呈し、その量は0.006~8mmであった。両電極の間に大きな差は認められないが、黄銅電極による場合はつづみ量が若干少ないようである。

〔実験2について〕

各コンデンサ容量の値に対する加工電流と加工面積速度、および表面あらさとの関係を示す実験結果を図6(1)~(4)に示す。これらの図から両板厚について、加工面積速度は加工電流、コンデンサ容量の増加とともに高くなっている。

電極の種類による相違は、低い電流値では銅電極による場合が高い値を示し、高い電流値では逆に黄銅電極による場合が高い値を示している。そして、両電極の示す加工面積速度の順位は、図中に示した線分(a-a')が境界線となって入れ替わる傾向を示している。

一方、表面あらさは、加工電流の増加とともに粗くなっているが、コンデンサ容量との関係は具体的な特性を示していない。すなわち、同一電流値でコンデンサ容量を変化させても大きな差を呈することはなく、加工電流値に対してほぼ一丸となった傾きを呈している。明確な特性を示している実験結果は少ないが、加工面積速度が高く得られる電極では表面あらさは粗く、表面あらさの良い結果の得られる電極では加工面積速度は遅い。一例として、図6(3)および(4)にコンデンサ容量0.04μFでの表面あらさ特性の比較を示した。また図7は、板厚20mmの場合の加工断面曲線の測定結果の一例である。加工条件が異なれば、表面あらさの値は変化しているが、断面曲線のボタンは、どれも同じく周期性のない不規則なボタンを繰り返した表面性状を呈している。

電極の種類による表面あらさ値の差は、特にコンデンサ容量の値を変化させても加工面積速度の結果に見られるような顕著な特性の違いがないことから、加工面積速度の高い加工を行うためには、黄銅電極を用いて加工電流値を高く設定することで得られると考えられる。

〔まとめ〕

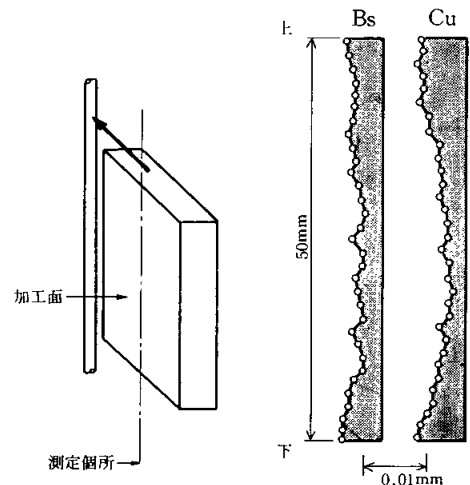


図5 加工断面形状

実験 1, 2 における結果を要約すれば, 次のごとくである。

- 1) 黄銅電極の放電ギャップ量は, 銅電極に比べて 0.005mm 少ない。

- 2) 加工電流値の低い加工領域では銅電極が, 高い加工領域では黄銅電極が高い加工面積速度を示す。
- 3) 銅・黄銅電極とも加工面積速度を高くとれば, 表面あらさは粗くなる。

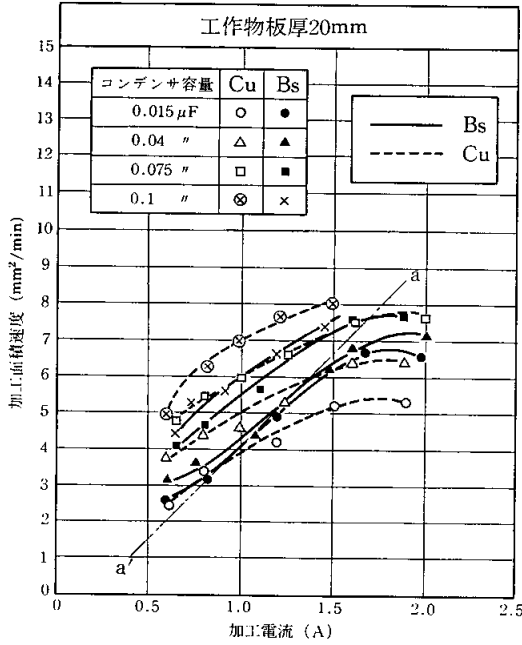


図 6(1) 加工電流と加工面積速度の関係

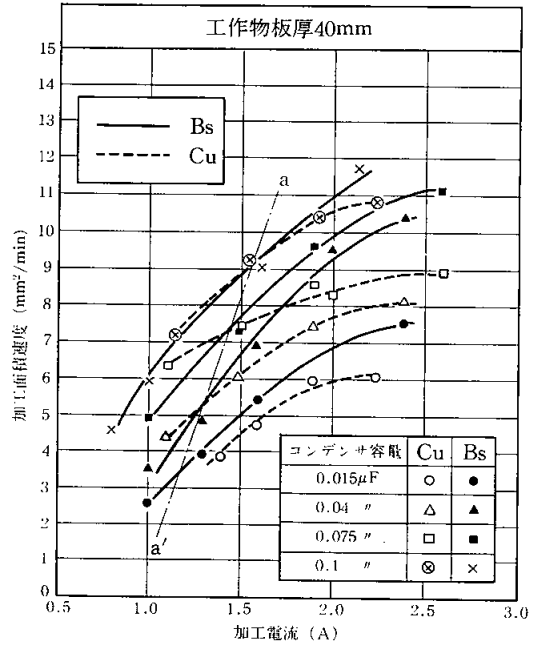


図 6(2) 加工電流と加工面積速度の関係

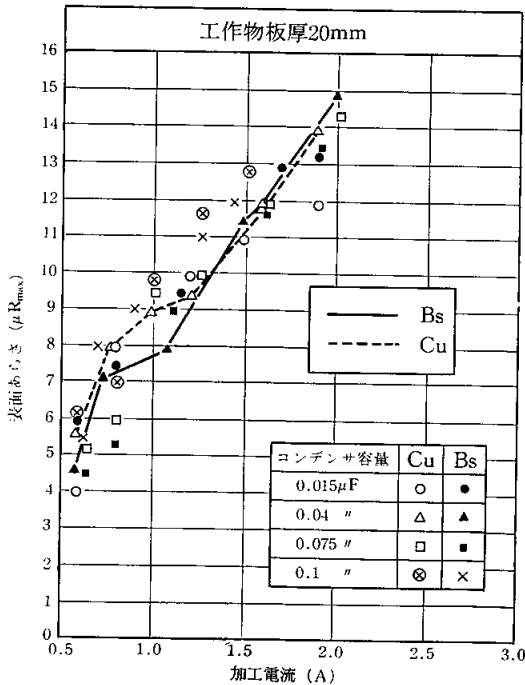


図 6(3) 加工電流と表面あらさの関係

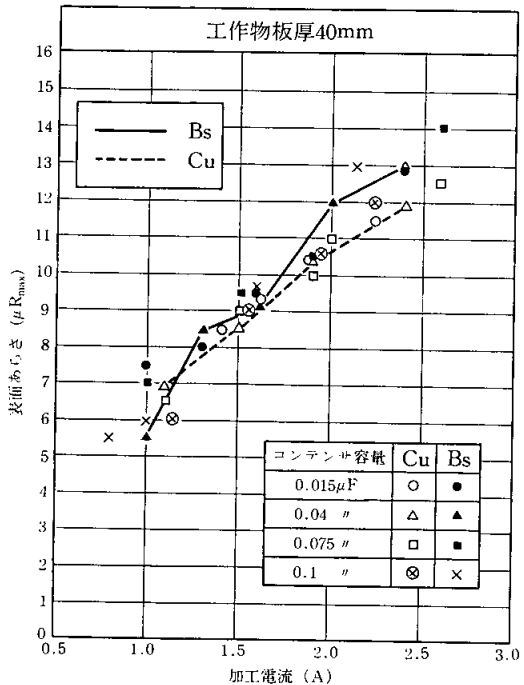
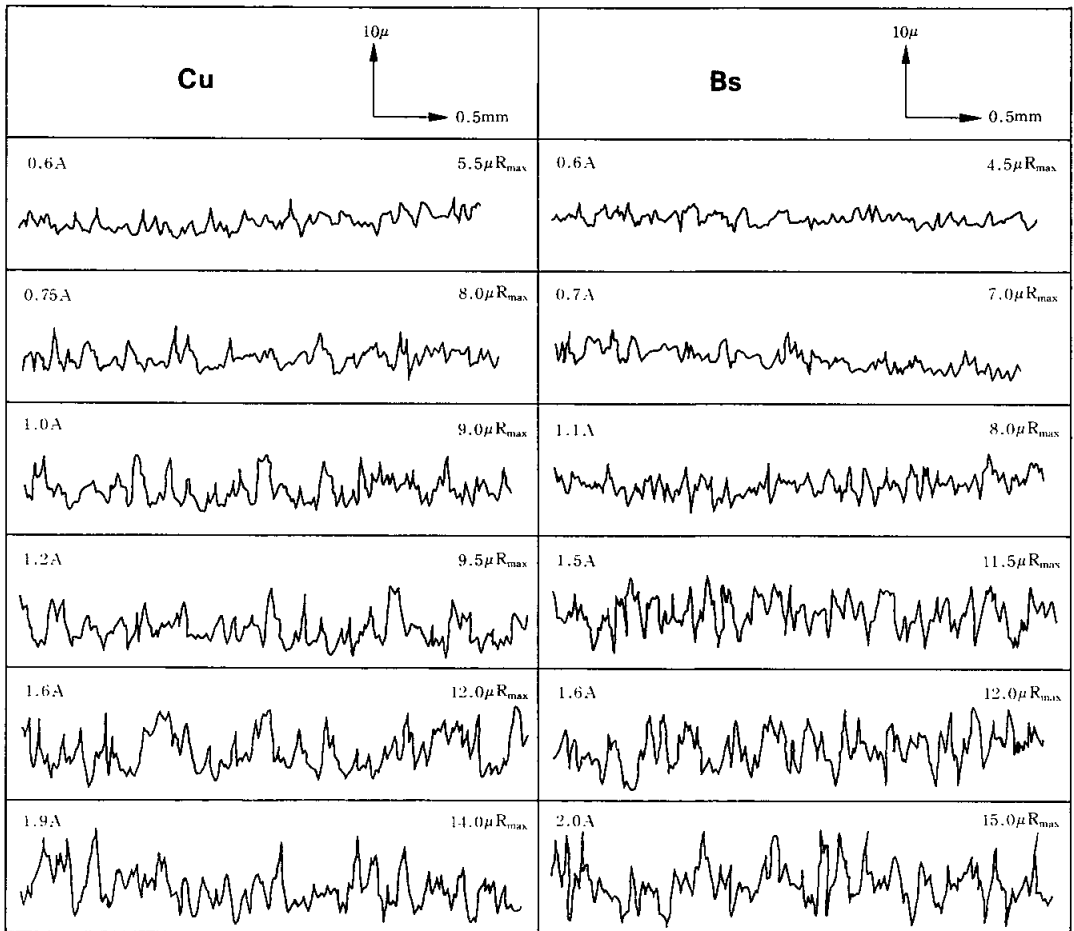


図 6(4) 加工電流と表面あらさの関係



(工作物板厚20mm, コンデンサ容量0.04μF)

図7 加工断面曲線の一例

実用的な加工において、銅電極か黄銅電極のどちらを用いるかは、加工の目的と手段にもよるが、すぐれた加工特性の得られる電極を利用するのが効果的である。

また、工具としての電極は消耗品であることから、経済的な観点からの電極材種の選択基準も総合判断の上で重要な因子となるが、現状では黄銅電極は他目的需要が少ないことから、銅電極との価格の比率は 1.1 : 1 となっており、若干高い。

これらの加工実験では結論の得られなかった加工形状精度への影響などについての考察は、今後の残された課題でもある。

## 2 テーパ加工によるパンチ、ダイの同時加工工程に関する考察

### 2.1 テーパ加工法

テーパ加工のできる加工機を利用して、一組のパンチ

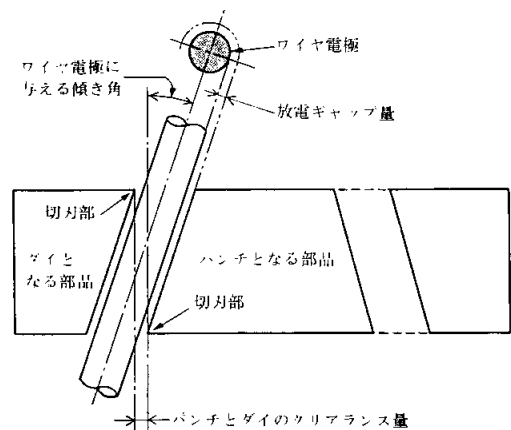


図8 テーパ加工原理

とダイの両抜型部品を同時に加工する方法が活用されている。これは、加工原理を図8に示すごとく、一つのブロックからパンチとダイの両部品の切刃部に、適正なク

リアランス量が得られるよう、ワイヤ電極に与える傾き角を調整して切断加工を行う方法である。

ここでは、加工する抜型部品の板厚やクリアランス量および設定するワイヤ電極の傾き角などのパラメータ間の関係を解析して、パンチとダイの同時加工工程に関する考察を行い、金型の設計および加工作業の合理化を図るための手法について検討した。

## 2.2 テーパ加工パラメータの読み取り手法

テーパ加工法により、パンチとダイの両部品加工を行うためには、両部品の切刃部に適正なクリアランス量を得るために、ワイヤ電極に傾き角を設定しなければならない。この加工法で得られる抜型部品間のクリアランス量は、図8に示した原理図から明らかなように、傾き角とワイヤ電極径および放電ギャップ量の値により決定される。この場合、これらの設定値の与え方により、1工程加工では適正なクリアランス量が得られず、両部品の同時加工が不可能な場合、図9に示すごとく1工程目のテーパ加工でパンチを切り出した後、2工程目のストレート加工でダイの切刃部を成形する加工を行う2工程加工を行う必要がある。

加工する工作物の材質をSKD11種、使用するワイヤ電極に直径0.2mmの銅電極を用いる場合のテーパ加工パラメータ間の関係を解析した。

今、図10に示す1工程同時加工の解析図において、

- $c$  : 両部品間の切刃部におけるクリアランス量 (mm)
- $t$  : 工作物の板厚 (mm)
- $\theta$  : ワイヤ電極に与える傾き角 (°)
- $g$  : ワイヤ電極と放電ギャップ量による加工代 (mm)

とすれば、

$$c = g - \tan\theta \cdot t \dots\dots\dots(3)$$

の関係を得る。

ここで、 $g$  はワイヤ電極径と両側放電ギャップ量の和であり、片側放電ギャップ量を  $g_0$  (mm) とすれば、

$$g = (2g_0 + 0.2) / \cos\theta \dots\dots\dots(4)$$

となるが、 $\theta$  は小さい値をとるため、 $\cos\theta \approx 1$  と見なせば、式(3)は、

$$c = (2g_0 + 0.2) - \tan\theta \cdot t \dots\dots\dots(5)$$

となる。

また、 $g_0$  の値については過去の実験結果から工作物の板厚  $t_0$  (mm) との間に、図11に示すとき関係があり、

$$g_0 = 10^{(0.22 \log t_0 - 1.6)} \dots\dots\dots(6)$$

なる関係を有する。

この式(6)における  $t_0$  の値は、テーパ加工においては

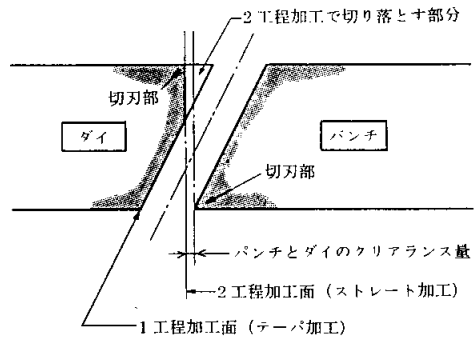


図9 2工程加工によるパンチ、ダイの加工

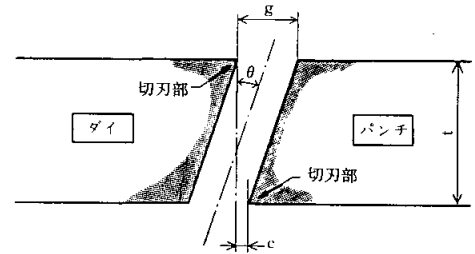


図10 1工程加工解析図

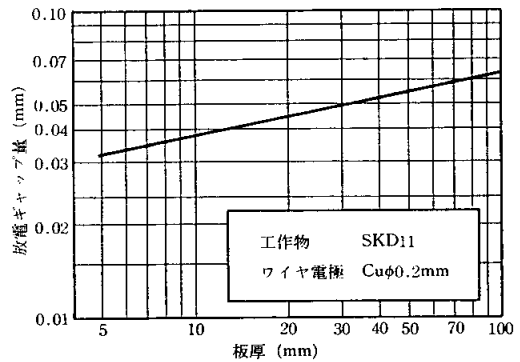


図11 板厚と放電ギャップ量の関係

厳密には

$$t_0 = t / \cos\theta \dots\dots\dots(7)$$

となるが、実用上傾き角  $\theta$  は大きな値をとることはないので、ここでは  $t_0 = t$  として扱えば、式(4)は

$$c = (2 \times 10^{(0.22 \log t - 1.6)} + 0.2) - \tan\theta \cdot t \dots\dots\dots(8)$$

となる。式(8)を用いて、 $0 < t \leq 100$ ,  $0 \leq \theta < 4$  の範囲で、 $c$  量を適当に与えて読み取り図を得れば図12のごとくである。

図中にこの図の読み取りの一例を示すように、工作物板厚15mm、クリアランス量が0.05mmの1工程両部品加工を行うには、ワイヤ電極の傾き角を0.9°に設定すればよいことが得られる。

この図において、クリアランス量  $c=0$  なる曲線が1工程両部品加工の限界を示す境界線となる。すなわち、 $c > 0$  なる領域で加工可能であることから、1工程加工

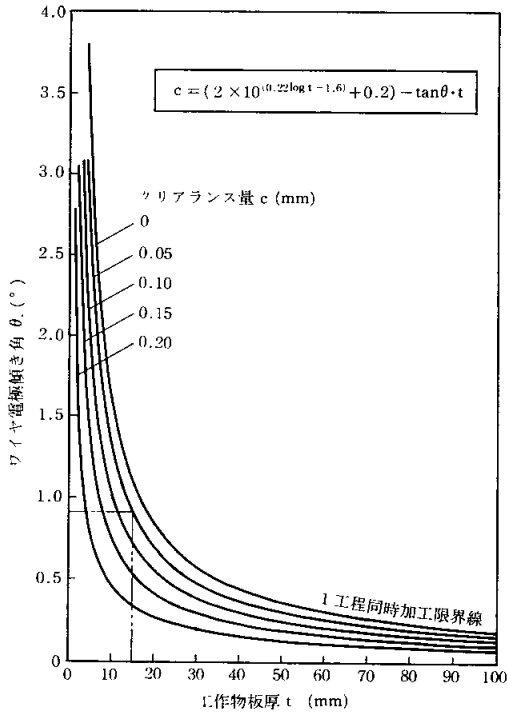


図12 1工程加工データ

でパンチ，ダイの二部品加工を行うには， $\theta$  および  $t$  の値が非常に限られた値をとるときに制約される。

1 工程加工が不可能な領域内では 2 工程加工を行うことになる。2 工程加工の解析図を図13に示すが，この図において，

$b$  : ダイ部品のストレート加工すべき量 (mm)

$l$  : ストレート切刃部の長さ (mm)

$c, t, \theta, g$  (承前)

とすれば，

$$b = c - g + \tan \theta \cdot t \quad \dots\dots\dots (9)$$

すなわち，

$$b = c - (2 \times 10^{0.22 \log t^{-1.6}} + 0.2) + \tan \theta \cdot t \quad \dots\dots\dots (9')$$

$$l = b / \tan \theta \quad \dots\dots\dots (10)$$

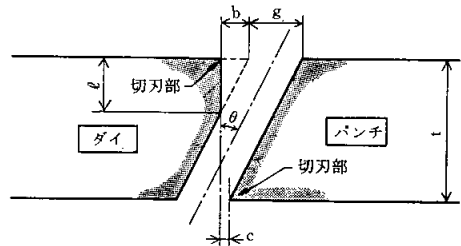


図13 2工程加工解析図

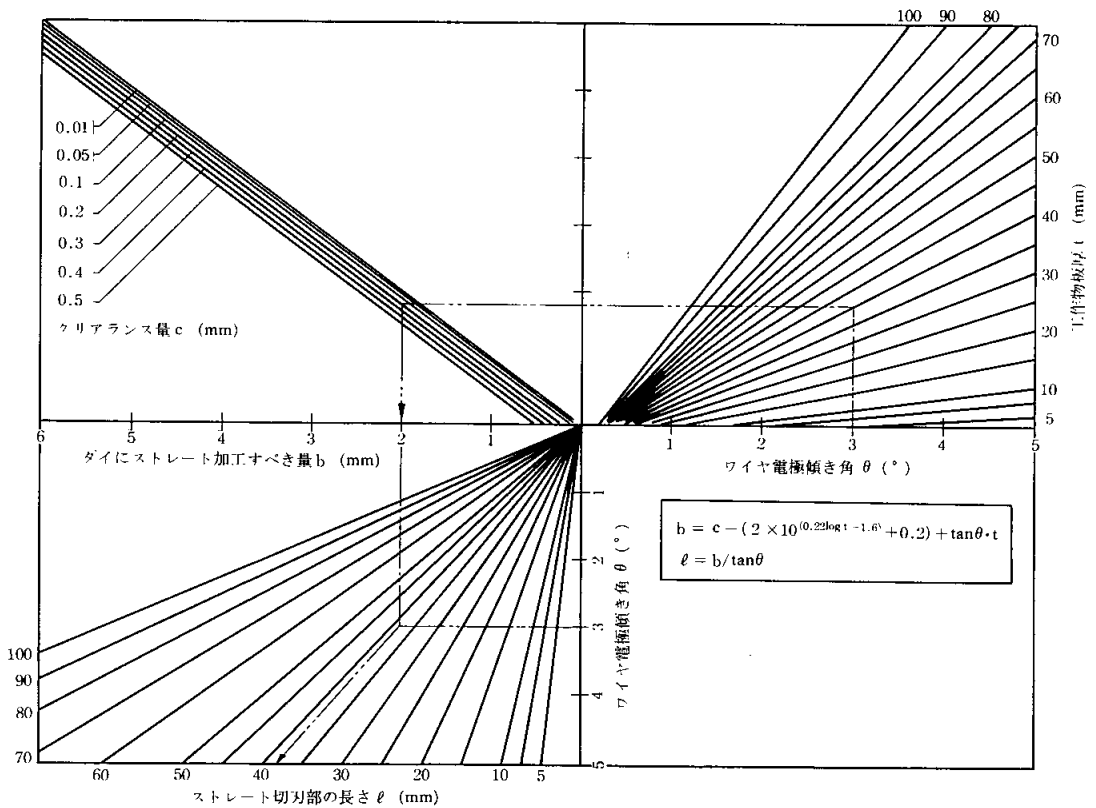


図14 2工程加工データ



となる。

2工程加工において、 $0 < \theta \leq 5$ 、 $5 \leq t \leq 100$  の範囲で  $c$  量を適当に与え、式(9)、(10)で得られる  $b$  量、 $l$  量の値を簡単に読み取れるよう作成した方式が図14である。

図中に…線で読み取りの一例を示したように、たとえば、工作物板厚 40mm、クリアランス量 0.2mm、ワイヤ電極に与える傾き角  $3^\circ$  の例では、 $b$  量、 $l$  量はそれぞれ 2 mm、38mm となる。

### 2.3 まとめ

一つのブロックからパンチとダイの両部品を切り出す場合、加工スタート穴の形状を図15に示すごとく、 $\theta_1 > \theta_2$  の状態に前加工して加工を開始すれば、両部品の切刃にあたる部分には、アプローチみぞを生ずることなく切り出し加工することができる。

また、パンチとダイの両部品を同時に切り出す加工であるため、個々の部品加工に比べ、総加工時間が短縮さ

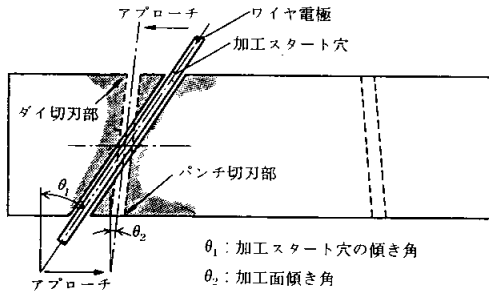


図15 加工スタート穴の状態

テーパ加工指図票				No.	—
				DATE	
				CF	
材料				基準	パンチ    ダイ
H <sub>R</sub> C				ワイヤ電極	φ    mm
寸法	W	×D	mm		
抜製品	材質	板厚	mm		
加工局長					
加工時間					
1 工程加工		2 工程加工			
NOTE:					

図16 テーパ加工指図票の一例

れることとなり、素材から廃材を出すことのない歩留まりの高い加工方式であるといえる。

こうしたテーパ加工法を採用した抜型部品の設計段階や加工作業での合理化を図るため、読み取り図を用いたパラメータの設定方式を検討したが、基本的には式(6)で示した放電ギャップ量に関する関係式があらかじめ得られている必要がある。

図14で示した2工程加工読み取り図では、パラメータのオーダ幅が広いと、詳細数値の読み取りが困難ではあるが、図12との併用により採用する工程手段の選択などが設計段階で吟味あるいは検討でき、敏速にデータを得ることで作業上の合理化に一役を担うことと考える。

図14により求める  $b$  量は、2工程目のダイ部品加工での切り込み量を与えることとなり、その時のワイヤ補正量の決定には板厚の値が必要であるが、 $l$  量として求めることができる。たとえば、こうした加工法を用いる工程管理面で、設計段階で検討されたパラメータの選択を図16に示すパラメータの記載された指図票を添付して、NCテーパ作成担当者に渡すことにより作業上のはん難な諸計算を省略して、加工作業の能率を上げることができであろう。

やむを得ぬ事情により、これらの検討事項は机上の考察範囲を脱することができず、実際の加工実験を踏まえた考察に及んでいない。本手法の実用面への適用には、加工上の精度問題などに対して十分なデータを収集し、読み取り図が補正されて活用されていくべきであろう。

なお、本法の解析過程における計算処理および読み取り図の作成には、NCテーパ作成用自動プログラミング装置を使用して行った。

## 3 加工状況遠隔検知装置の改造について

### 3.1 遠隔検知装置

無線音声伝搬方式による加工状況、特にワイヤ電極の断線時および加工終了時の遠隔検知装置の製作および活用については前年度報告した<sup>2)</sup>。本装置により加工状況を遠隔にしてモニタすることができ、有効利用することができたが、送信部回路が単機能で簡素な回路であったため、検知情報に乏しくはん用性に欠けていた。

昭和54年度は、この送信部の回路拡充の改造を行った。なお、使用送受信機ユニットの仕様その他については前年度の報告内容を参照されたい。

### 3.2 送信部回路の改造

送信部回路は、送信形態を図17に示す3態、すなわち、

1. 加工中常時送信で、ワイヤ電極の断線後もしくは加工終了後無送信に切り換わる。
2. 加工中無送信で、ワイヤ電極の断線後もしくは加工終了後常時送信に切り換わる。
3. 常時送信

を行う回路を設け、必要に応じた送信形態を選択できる方式とした。

状態 ボタン	加工時		加工終了もしくは断線
	ON	OFF	
1	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON
2	ON	OFF	ON
	OFF	OFF	OFF
3	ON	ON	ON
	OFF	OFF	OFF

図17 送信形態

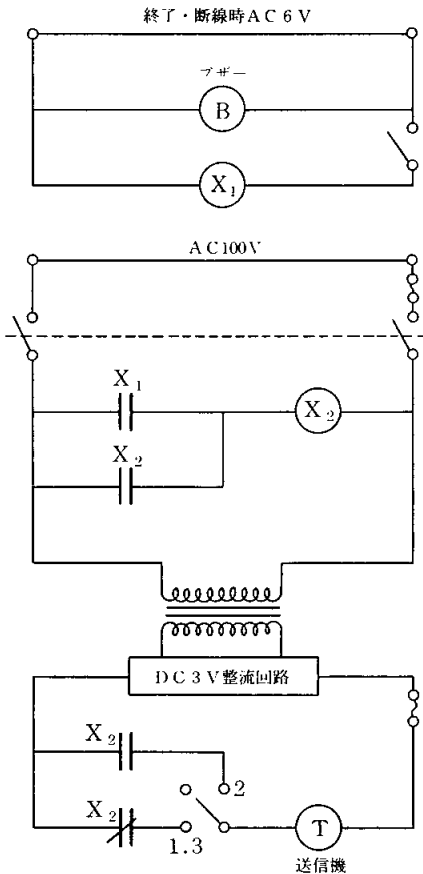


図18 送信部回路図

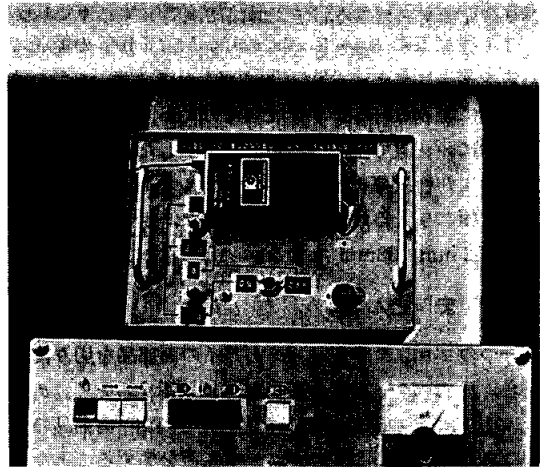


写真1 送信部外観

送信部回路図および送信装置を加工機に付設した外観をそれぞれ図18、写真1に示す。

### 3.3 改造後の使用状況

送信部の回路改造によりモニタ機能を付加することができ、改造後の各送信形態での加工状況の遠隔検知は、従来と変わらない性能でモニタすることができ良好な結果であった。特に、送信形態①または②を用いてモニタするときは、加工が無事に進行しているかどうかの遠隔検知が、送信状態の有無で判断することができ、有効に活用することができた。

### あとがき

最近、各学会や研究機関などで催される WCEDM 技術の交流や、機械工学関係の専門雑誌などに見られる技術動向の展開がひんぱんに行われるかたわら、こういう世論を反映して、昭和54年秋から技能検定の制度も導入された<sup>3)</sup>。

ふんだんな機能を装備して、加工機の性能も一段と高まってその普及は著しい。実用面では、有効な機能を駆使して、効果的な活用技術がますます蓄積され、加工技術のレベルがさらに向上するものと思われる。

加工機の適用の主眼である金型部品加工における一加工工程の座が完全に確保され、不可欠設備の一つとして新しい加工技術の歴史を織り成していくことであろう。

### 参考文献

- 1) 吉田, 三輪, NC ワイヤカット放電加工に関する考察, 自転車技術情報 No. 2, 1978—12
- 2) 吉田, 三輪, NC ワイヤカット放電加工に関する考察, 自転車技術情報 No. 7, 1980—3
- 3) 官報, 放電加工の技能検定に関する公示, 1979—8—29, 第15785号