

# 放電加工に関する研究

—軟鋼加工における電極先端形状効果—

谷口正紀\*・瀬戸雅文\*\*

## Study on Electric Discharge Machining

—The Effect of Electrode Shape on Machining of Mild Steel—

Masaki TANIGUCHI and Masafumi SETO

### Abstract

It was very difficult to open holes for hard materials. If electric discharge machining is used, we can easily finish these metals. This method removes metal by electric spark, and the electrode consumes at the same time. The melting of metals at an electric discharged point is one of the most important matters for studies of electric discharge machining.

In this report, the electrode shape on machining of mild steel is described. The relationship between electrode shape and machining faculty is found out as follows. It is desirable that electrode end shape and diameter are changed in accordance with shape and depth of machining hole.

### 1. 緒言

放電加工法は目的とする加工に応じた形状の電極と被加工物との間に繰り返し火花放電を発生させ、その作用によって被加工物の表面を削り取り、成形を行なう加工法である。しかし、実際に放電加工を行なう場合、繰り返し放電が安定しないでしばしば短絡やアーク放電を生じる。このような条件では加工速度が小さく、電極消耗が大きくなり、加工面アラサも悪くなるので必ず安定した連続的な繰り返し放電が行なわれる条件のもとで加工する必要がある。

放電加工における加工の安定性を阻害する短絡および過度のアーク放電の発生は放電が加工面の一部に集中したり加工屑が電極と被加工物との間に滞留するために生じるもので、これらを解消するためには放電回路改善による放電の分散、加工液の噴出または吸引による加工屑の強制排除など種々の方法が用いられている。いつぼう、電極の径および先端形状が放電の分散、加工液の供給、加工屑の排除などに影響し加工性能を左右することが考えられる<sup>1),2),3)</sup>。

本研究では加工液流を自然流、電極の径を7.5φmmおよび12φmm、電極先端形状を180°(平)、120°、90°および60°(凸)とし、軟鋼の穴あけ加工を行な

い、加工深度の増加にともなう加工速度、消耗比などの変化および電極先端形状の推移を把握しながら電極の径および先端形状が加工性能におよぼす影響、すなわち、電極の径および先端形状効果について検討を行なった。

### 2. 電極、工作物および実験装置

電極はその表面を研削加工(心無研削盤)した黄銅丸棒でその組成をTable 1に示す。なお、研削仕上面アラサは5μHmaxである。

Table 1 Chemical composition of electrode (%)

	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe
7.5φ	58.97	36.92	3.10	0.54	0.49
9φ	60.77	35.6	2.89	0.71	0.36
12φ	60.26	36.92	2.69	0.50	0.26

工作物はTable 2に示す組成の軟鋼板(53×50×8.5)で、その表面を研削加工した。表面アラサは3μHmaxである。

\* 工業短期大学部機械工学教室

\*\* 宇部工業高等専門学校

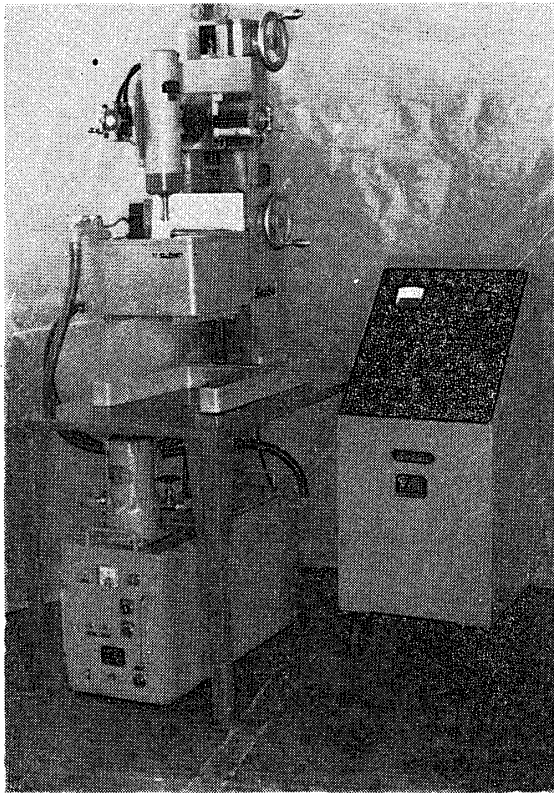


Fig. 1 Electric discharge machine

実験に使用した放電加工機は西部電機工業製の Yaspark E 102型小型放電加工機でその外観を Fig. 1 に示す。本機は電気の過装置を有し、加工液を循環さ

Table 2 Chemical composition of work (%)

C	Si	Mn	P	S
0.12	0.22	0.50	0.032	0.020

せながら加工屑の静電ろ過を行なうことができる。加工ステップは放電回路中のコンデンサ容量によって4段階に分れており、加工ステップとコンデンサ容量との関係はそれぞれステップ1—40 $\mu$ F (粗仕上), ステップ2—1 $\mu$ F (中仕上), ステップ3—0.1 $\mu$ F (上仕上), ステップ4—0.01 $\mu$ F (精密仕上) である。

その他の使用測定器具を列記するとつぎの通りである。

島津製作所製直示天秤L—2型

秤量 200g 実感量 0.1mg

投影目盛 1mg 副尺目盛 0.1mg

オリンパス光学工業製小型工具顕微鏡

神港精機製万能精密投影器Ⅲ—S型

### 3. 実験方法

実験方法としては加工電圧を100V, 加工液を白灯

Vol.18, No.2 (1967)

油, 加工液流を自然流 (9.3l/min) 一定としその他の加工条件を次のように変化させて軟鋼板の穴あけ加工を行なった。

電極径 : 7.5 $\phi$ mm, 9 $\phi$ mm, 12 $\phi$ mm

電極先端形状 : 180° (平) 120°, 90°, 60° (凸)

加工ステップ : ステップ1, ステップ2

電極の送り量を Fig. 2 に示す装置を用いて測定し、電極を2mm送るごとに加工時間, 加工量, 電極消耗量, 加工深度, 電極先端形状を測定した。工作物および電極の再装着に際しては元の位置に復元するための治具を工夫し、工作物と工作物載物台との間に間隙を生じないように特に注意した。

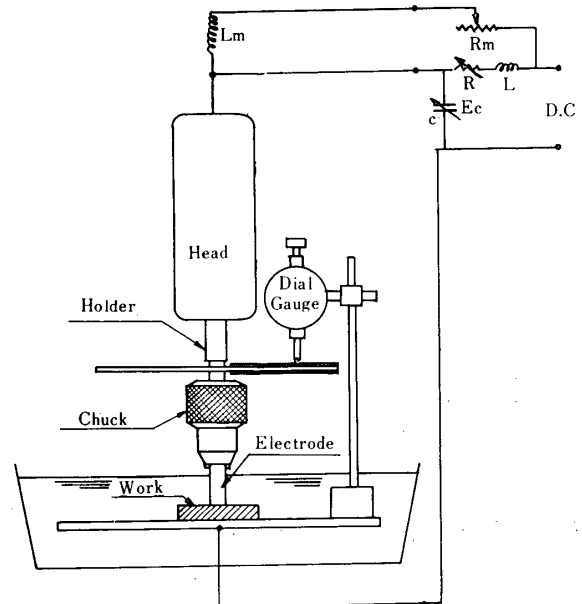


Fig. 2 Experimental apparatus

加工量および電極消耗量の測定は直示天秤を用いて行ない、加工深度は工具顕微鏡により測定した。また、電極先端形状は投影器によりトレーシングペーパーにトレースした。

### 4. 実験結果および考察

本実験において得た加工量および消耗量はすべて体積 (累積) に換算し、加工速度, 消耗比, 加工比および消耗形状について検討を行なった。

#### 4.1 加工速度

電極送り量と加工速度との関係を Fig. 3 (ステップ1) および Fig. 4 (ステップ2) に示す。ステップ1の場合, 加工初期においては先端角が鋭利なほど加工速度が小さく, 90°および60°では最大値を有し, 電極送り量がある点を過ぎるといずれの先端形状の場合

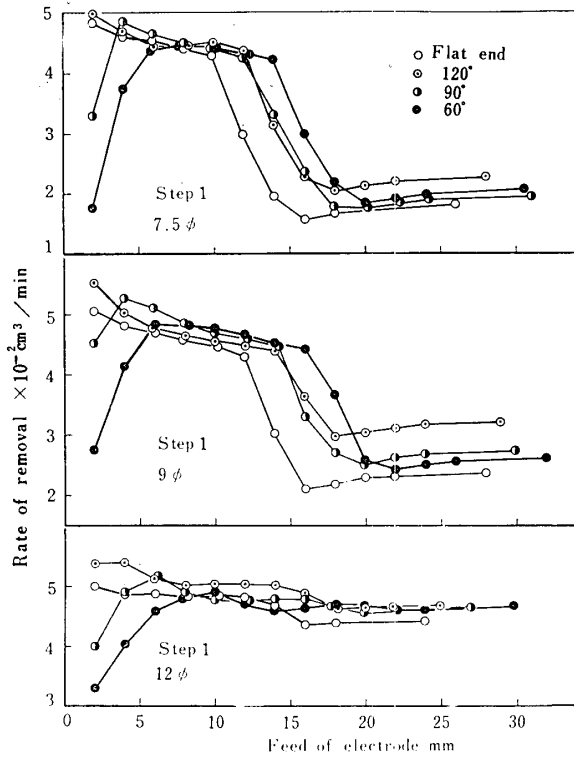


Fig. 3 Relationship between feed of electrode and rate of removal

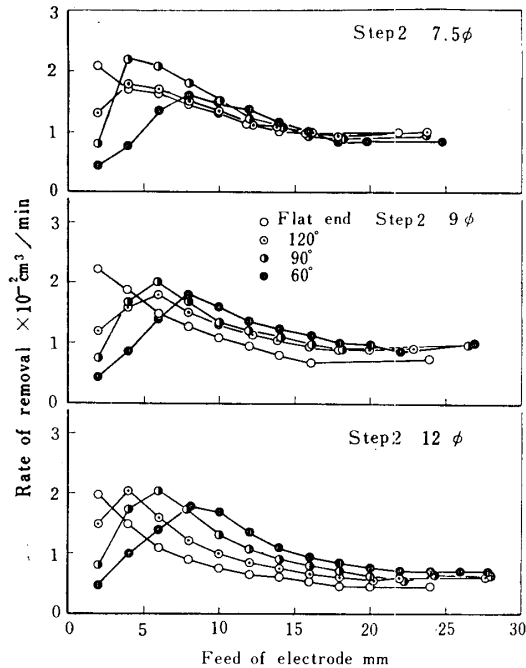


Fig. 4 Relationship between feed of electrode and rate of removal

とも加工速度はわずかに減少し、さらに送りを増加すると加工速度は急減する。この急減点までは安定した加工が行なわれ、この加工安定期の長さは電極径が大きくなるにつれて長くなる。また、先端形状が鋭利に

なるほど急減期の発生が遅くなるが、その勾配はほとんど等しい。さらに電極を送ると部分的な貫通を生じ、それ以後は加工速度が増加する。加工急減期の長さは電極径が大きくなるにつれて短くなり12φにおいては加工急減期が極めて短い。

また、加工安定期における加工速度はいずれの場合ともほぼ等しく、径が大きくなるとわずかに増す程度であるが安定期と一部貫通後の加工速度との差は径が大きくなるにつれて小さくなっている。

電極送り量と加工深度との間には一般に比例関係がない。すなわち消耗比が一定ではないので、加工深度と加工速度との関係を一例として示すと Fig. 5 (平の場合) のようになる。電極径によって加工急減点が異なり、電極径7.5φでは加工深度5mm、9φでは6mm、12φでは7mm附近から急減する。

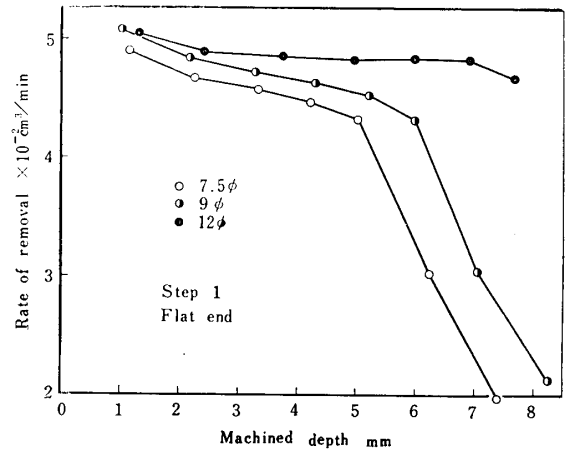


Fig. 5 Relationship between machined depth and rate of removal

ステップ2の場合は先端形状が180°の場合を除いて、いずれの電極先端形状においても最大値を有し最大点以後は漸減する。加工安定期と不安定期および不安定期と一部貫通の間にはステップ1の場合のような明瞭な特性は見出されない。加工深度との関係において加工速度が最大値を示す点は径が大きくなるにつれてわずかに深くなり先端形状が鋭利になるほど深くなる。(図略)

#### 4.2 消耗比

加工深度と消耗比との関係を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。Fig. 6 はステップ1の場合(9φは省略)で、加工初期においてはいずれの径の場合とも先端形状が鋭利になるほど大きく、加工深度が深くなるにつれて減少しながら平の場合に近づく。さらに加工深度が深くなると平の場合は増加するが、その他はほとんど変化がない。このように、加工速度には急減点を生

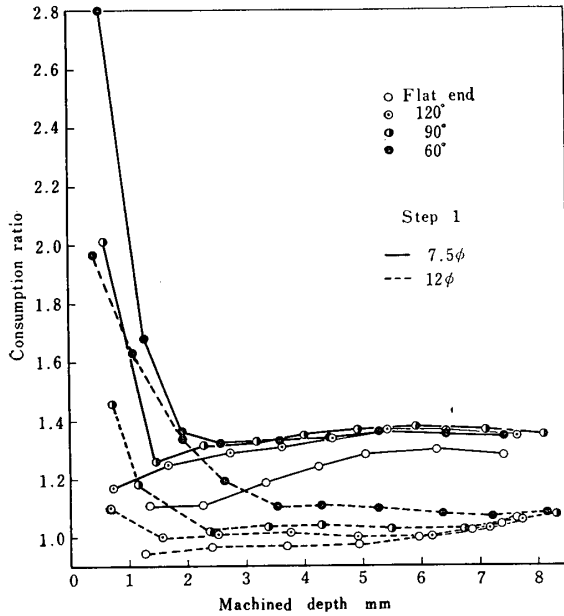


Fig. 6 Relationship between machined depth and consumption ratio

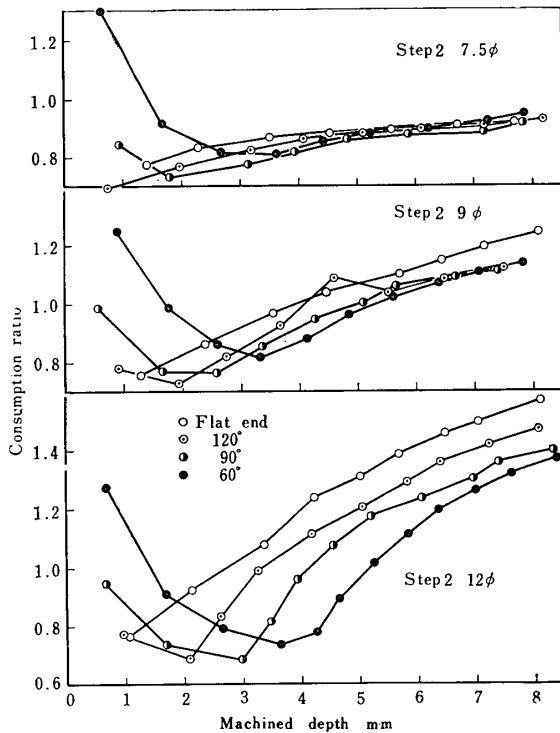


Fig. 7 Relationship between machined depth and consumption ratio

じながら消耗比に変化がないのは加工速度と消耗速度がほとんど同じ傾向で降下することを示す。また、径が大きいくほど消耗比が小さく、加工初期における変化も小さい。加工初期から全貫通まで12φ平の場合を除いていずれも消耗比は1よりも大きい。先端形状の影

響は最終的にはほとんど差がなく、7.5φの場合のみ平の場合が小さい。

Fig. 7 はステップ2の場合を示すもので、ステップ1の場合と同じように加工初期においては先端角が鋭利なほど大きく加工が進むにつれて減少する。平の場合は加工初期から比例的に増加し、その他の場合も最少点以後はこれにほぼ平行に増加する。最小点の深さは先端形状が鋭利になるほど深く、12φの場合は明らかに先端形状が鋭利なほど消耗比が小さくなっている。

### 4.3 加工比

放電穴あけ加工においては加工終了の時期を決めることがむずかしいので理論加工量(電極横断面積×工作物板厚)に対する実加工量の比を加工比としてFig. 8およびFig. 9に示した。Fig. 8の場合、加工初期におけるいわゆる加工不安定期の加工比の上昇率は径が大きくなるほど小さく、加工不安定期の出現はおそくなるが、不安定期が短くなるので加工比1に達する時間は平の場合ほとんど等しい。先端角の影響は7.5φおよび9φの場合にいちじるしく、120°の場合が最も短い。

Fig. 9 の場合は、径が大きくなるほど加工比1に達する時間が長く、また、9φおよび12φにおいて先端角の効果が現われるが、7.5φにおいてはむしろ悪くなる。

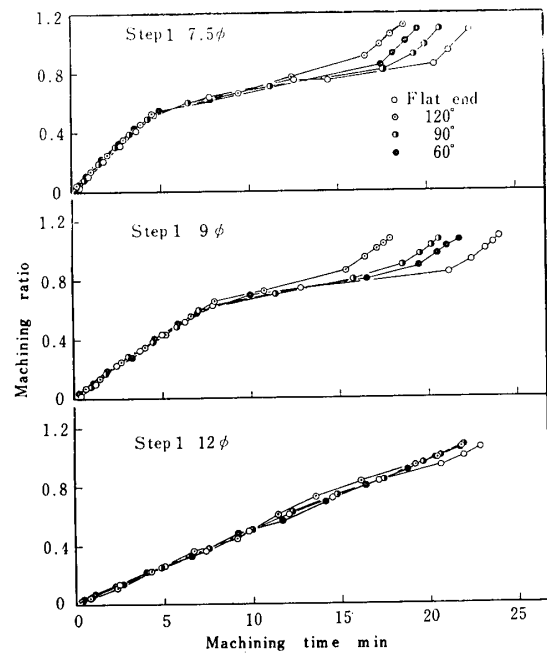


Fig. 8 Relationship between machining time and machining ratio

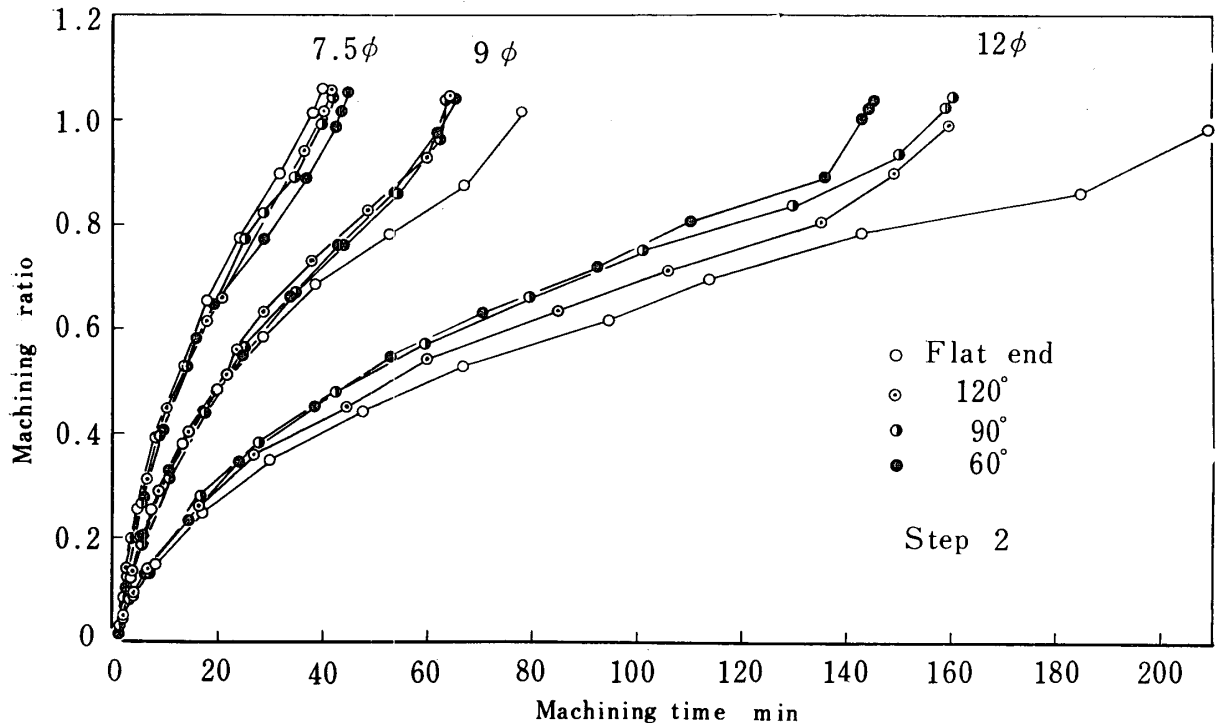


Fig. 9 Relationship between machining time and machining ratio

4.4 先端形状の推移

ステップ1の場合の先端形状の推移をFig.10 (9φ平) およびFig.11 (9φ60°) に示す。両図を比較すればわかるように、両側の曲率半径は先端角が鋭利なほど大きく、中央部に生じる小突起の発生が小さい。この小突起の発生は加工深度がある程度深くなると加工層の排除がむずかしくなり、電極先端面と加工面との間に滞留し、しかもその滞留が中央部より先端周囲部に多いためと考えられる。しかし、先端角が小さく両側の曲率半径が大きくなると加工層の排除がよくなるため小突起も小さい。また、この加工層の滞留と小突起の発生がFig. 3における加工速度急減の原因になるものと考えられる。一部貫通後は下孔として作用し加工層の排除がよくなり再び加工が安定し、加工速度も上昇する。12φの場合には加工速度の急減点と貫通点とがきわめて近いいため小突起の発生も確認されない。

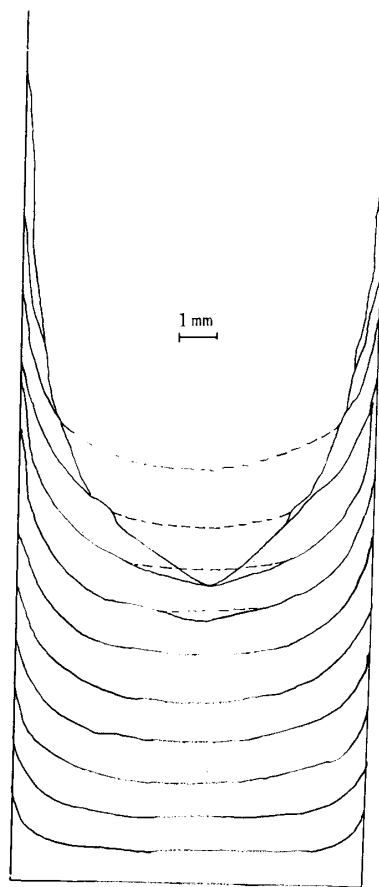


Fig.10 Electrode shape Step: 1, Diameter: 9φ, Shape: Flat end

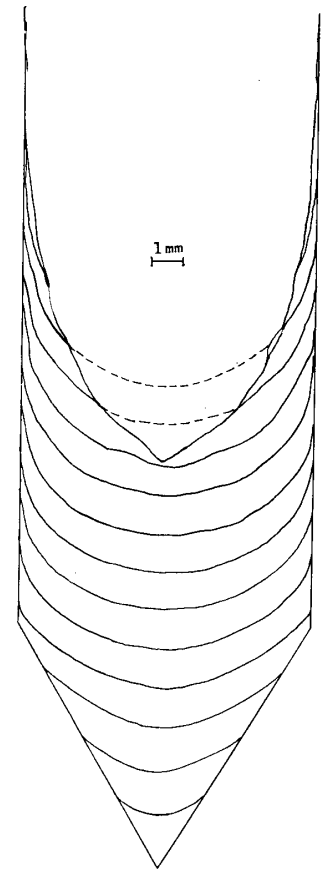


Fig.11 Electrode shape Step: 1, Diameter: 9φ Shape: 60°

Fig.12および Fig.13はステップ 2 の場合の平および60° の場合を示す。ステップ 2 の場合も先端角が鋭利なほど両側の曲率半径が大きいが、ステップ 1 の場合と異なり電極先端にヘコミを生じる。したがって、工作物には小突起を生じ、電極先端形状が鋭利になるほどその発生は遅くなる。またその高さも小さい。すなわち、加工穴深度の深い所まで、加工安定期が続くことを示す。Fig.14は代表例として12φ の場合の加工穴深度と小突起の高さとの関係を示す。

この小突起（工作物）の発生は加工穴が深くなるにつれて加工屑の排除が悪くなり、加工面と電極先端面との間に滞留し、ステップ 1 の場合より加工エネルギーが小さいため、加工穴の

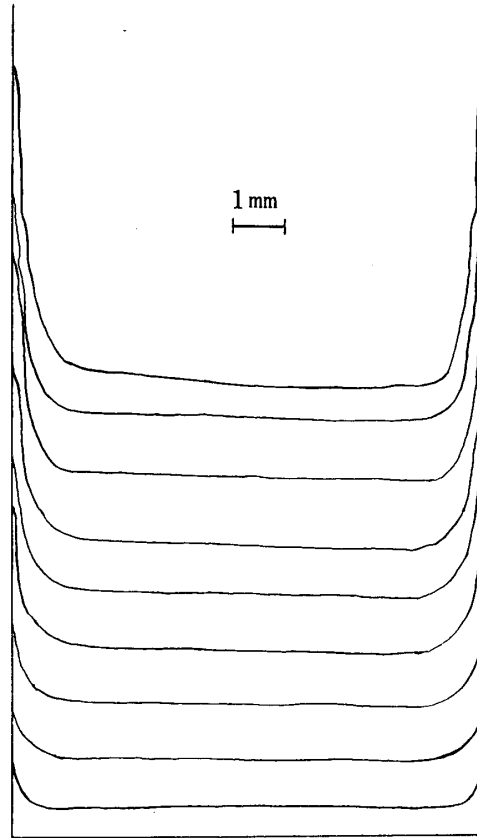


Fig.12 Electrode shape  
Step : 2, Diameter 9 φ, Shape : Flat end

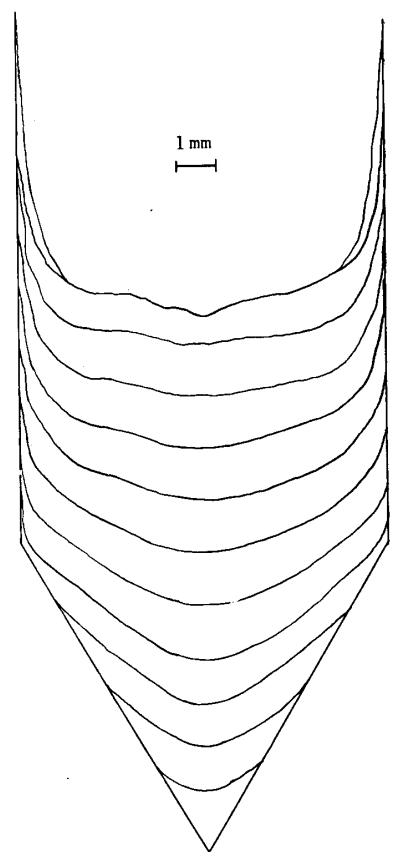


Fig.13 Electrode shape  
Step : 2, Diameter : 9 φ, Shape : 60°

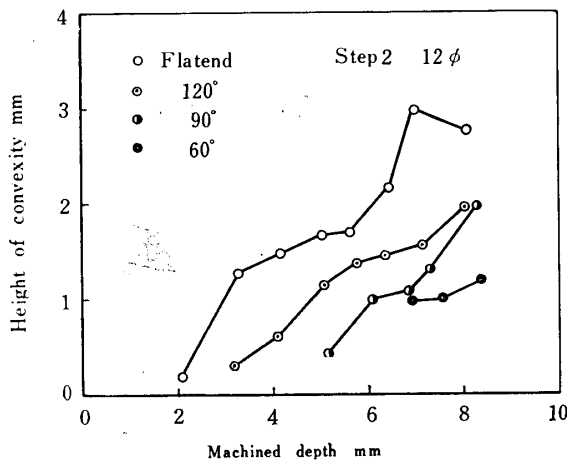


Fig.14 Relationship between machined depth and height of convexity

中央部でアーク放電を起すため生じるものと考えられる。一部貫通後に加工速度が上昇するのはステップ 1 の場合と同様である。

4.5 加工性能の比較

それぞれの加工ステップおよび電極径について先端形状効果の点から加工性能の比較を行なうと Table 3

のようになる。ステップ 1 の場合は先端角が120°の場合が最も加工性能がよく、消耗比だけについていえば180°の場合が幾分小さい。しかし、その割合は径が大きくなるほど小さい。

Table 3 Effect of electrode shape on machining faculty

		180°	120°	90°	60°	
Step 1	7.5φ	machining time	4	1	3	2
		consumption ratio	1	2	4	3
	9φ	machining time	4	1	2	3
		consumption ratio	1	2	4	3
12φ	machining time	4	1	3	2	
	consumption ratio	2	3	4	1	
Step 2	7.5φ	machining time	1	2	3	4
		consumption ratio	3	2	1	4
	9φ	machining time	4	1	1	1
		consumption ratio	4	1	1	1
12φ	machining time	4	3	2	1	
	consumption ratio	4	3	2	1	

Number : Order of machining faculty

ステップ2の場合、7.5φにおいては加工時間については180°が最もよいが消耗比についてはその効果がわずかに現われている。9φ、12φの場合は加工時間消耗比ともに180°の場合が最も悪い。

## 5. 結 言

以上の検討結果からつぎのようなことが明らかになった。

- 1) 加工ステップ1においては電極先端に小突起を生じ、ステップ2の場合は逆にへコミを生じる。その小突起およびへコミ現象は先端角をつけると一般に発生がおそくかつ小さくなる。
- 2) 加工ステップ1においては加工急減期を生じ、その発生は径が大きくなるほど遅れるが、全貫通に要する時間には径の影響が少ない。加工ステップ2の場合径が大きくなるほど加工時間は

著しく長くなる。

- 3) 加工ステップ1の場合、いずれの径においても120°先端角の場合が一番加工性能がよい。
- 4) 加工ステップ2の場合、7.5φの場合先端形状効果は消耗比だけにしか現われないが、9φ、12φと径が大きくなるにつれて先端形状効果が著しい。また、9φの場合120°12φの場合は60°の場合が最も加工性能がよい。

## 参 考 文 献

- 1) 田中義信：“放電加工の実際”，養賢堂（1965）p.48
- 2) 井上潔：“放電加工法”，日刊工業新聞社（1962）p.126
- 3) R. W. Medowell & O. D. Lascoe : American Machinist, April, 133 (1959)

(昭和42年4月15日受理)