放電加工の加工精度に関する研究(第3報)*

— 一段付部を有する円柱工具電極による加工精度 —

土屋 八郎** 井上 友一** 大森 正巳** 宮崎 真**

Study on Machining Accuracy in Electric Discharge Machining (3rd Report)

—Machining Accuracy by a stepped-Cylindrical Tool Electrode —

Hachiro TSUCHIYA, Tomoichi INOUE, Masami OMORI and Makoto MIYAZAKI

The paper deals with the performance of the cylindrical electrode having an annular step (the stepped tool electrode) which is formed behind full sized end of the electrode to prevent side discharge in E. D. M. of cylindrical blind hole.

In comparison with the results by the cylindrical hollow electrode, previously reported, the following results are obtained in a series of experiments in which the stepped tool electrodes are used under no forced fluid flow.

- 1) Lower removal rates are observed while smaller electrode wear rates are obtained.
- 2) The machining accuracy in terms of the working gap and the form error of the hole machined is improved in the use of the stepped. The roundness of the hole and the flatness of its bottom are kept at the same level as those obtained previously.
- 3) The depth of the step is recommended to be more than 0.5mm. The recommended length of the full sized end portion of the stepped electrode depends on working depth.

* 昭和53年度精機学会関西地方定期学術講演会にて発表

** 京都工芸繊維大学

1. ま え が き

放電加工における加工精度を加工現象の立場から論じた前報¹⁾では、加工液の供給方法²⁾を変化させて、それらが加工精度におよぼす影響について実験的研究を行なった。その結果、加工液の供給方法によってはある程度の加工精度が得られることが明らかになったが、その場合、加工液の供給方法が割合に複雑である。

ところで、加工速度をあまり落さず、複雑な加工液の供給方法もとらず、しかも加工精度を改善するために電極側面に段付部を設けて放電加工を行なえば、不必要な側面放電が防止されて加工精度が向上するのではないかと考えて、実験的考察を行なった。その結果を加工穴の真円度、底面形状、工具電極と加工穴のクリアランス、加工速度および工具電極消耗率等について検討し、さらに、段付部の形状寸法がこれら加工精度および加工性能におよぼす影響についてもあわせて検討した。

2 実験方法

本研究で使用した加工機は、マコトロイ社製 HYDREX・EA-20S で、図 1 にその加工回路を示す。なお、加工条件は今までと大体同じにして、加工極性は逆極性に、コンデンサ容量（図中 C）は $6\ \mu\text{F}$ 、回路インダクタンス（図中 L）は $300\ \mu\text{H}$ と一定にして実験を行なった。

工具電極は、図 2 に示すように段付部厚さ T 、段付部深さ D を有する外径 $20\ \text{mm}$ の銅電極である。被加工物には平鋼 SS41 を用い、加工穴の断面形状の観察を容易にするために研磨したブロックをボルトで締めあわせたものを使用した。

加工液の供給は、噴流も吸引も全然かけないで、加工屑排除のための洗浄周期は 3.5 秒、洗浄時間は 5 秒と一定にして、電極を上下させた。

加工速度および電極消耗率を求めるために加工前後の工具電極および被加工物の重量を精密化学天秤で測定した。加工精度の測定では、真円度はタリンド 100、工具電極と加工穴のクリアランスを求める場合の工具電極および加工穴直径は三次元測長機、加工穴底面形状と電極先端の形状を観察するために万能投影機をそれぞれ用いた。なお、本研究における加工深さは、 $10\ \text{mm}$ 、 $20\ \text{mm}$ とし、下加工は全く行っていない。

図 1

図 2

3. 実験結果および考察

3.1 加工穴の真円度

被加工物の加工穴の真円度は、深さ方向に1 mm 間隔で測定した。また、加工前の工具電極の真円度は、段付部の中央で測定した。図3に真円度測定機から得た図を示す。これには表面あらさが重畳しているので山と谷を相うずめてできる中心線を円型部分とし、その外接円と内接円の半径の差 f を真円度として測定した。

工具電極の段付部深さを0.5 mm と一定にし、段付部厚さを変化させた場合の真円度を図4、図5に示す。図4は、加工深さが10 mm の場合で真円度は10～25 μ の範囲で変動しているが、段付部厚さの違いが真円度におよぼす影響は殆ど認められない。同様に、図5は加工深さが20 mm の場合で、真円度は、10～20 μ の範囲で変動しており、この場合も段付部厚さの違いによる影響は殆ど認められない。

なお、前報¹⁾において、加工前の工具電極の真円度は2～5 μ で、それによる加工穴の真円度は5～15 μ であった。それに対して本報の加工前の工具電極の真円度は2～4 μ で前述の結果を得たが、工具電極の真円度が同程度であるにもかかわらず段付部を有する工具電極による加工穴の真円度の方が悪くな

図 3

図 4

図 5

っている。その原因として、真円度測定機によって記録された図形上には、加工穴表面のあらさが重畳しており、これから円型部分を判断する際に若干の個人差が考えられる。そのために、この程度の悪化を有異差と考えるには、資料が不足すると思われるので、この場合、一応大差ないものとする。

3.2 加工穴の底面形状

前報¹⁾では、加工液の噴流も吸引もかけない場合に、底面形状は最もよく、フラットであった。例示しないが、本研究の場合においても工具電極に段付部を設けているが、加工液の噴流も吸引もかけていないので、前報¹⁾と同様に、加工深さが10 mm、20 mmともに底面高低差は認められなかった。このことは、段付部を設けることによって、底面形状は、悪化しないということを示している。

次に、加工穴底面の角部の丸みについて、加工深さが10 mmの場合には、約0.75 mm、加工深さが20 mmの場合には、約0.88 mmと深さが増加すると角部の丸みは当然大きくなる。これは、工具電極先端の角部の丸みが加工深さの増加とともに、放電による消耗で大きくなると考えられる。なお、実験後の工具電極先端の角部の丸みを測定した結果、加工深さ10 mmの場合、約0.55 mm、加工深さ20 mmの場合、約0.78 mmであり、後述のクリアランスの大きさとあわせて考えてまず当然の結果と思われる。

3.3 工具電極と加工穴のクリアランス

工具電極の直径については、その先端での直径を任意の三方向について加工前に測定し、その平均値を工具電極の直径とした。また、加工穴の直径は、深さ方向に1 mm間隔で互いに直角な二方向について測定した。そしてこれら工具電極の直径と被加工物の加工穴直径の各位置での差の $\frac{1}{2}$ をクリアランスとした。

加工深さ10 mmの場合、段付部深さを0.5 mmと一定にし、段付部厚さを0.3、1.0、2.0、3.0 mmと変化させたときの結果を図6に示す。段付部厚さが0.3 mmの場合に円錐状になっている以外は、前報¹⁾で述べたような顕著なタル型形状は見られず、また、段付部厚さが増すにつれてクリアランスも大きくなっている。段付部厚さが0.3 mmの場合は、クリアランスが急激に下降し、負の値になっているのは、後述の工具電極先端の形状を見ても明らかなように、工具電極の段付部が消耗してなくなり、加工穴直径が小さくなったためである。

以上のことより、本研究の加工条件では、加工深さ10 mmの場合、工具電極の段付部厚さが約1.0 mmの場合にクリアランスは最小になり、穴の形状も割合に正確であるから、段付部厚さは、1.0 mmぐらいが最適である。

次に、加工深さ10 mmの場合に、段付部厚さを1.0 mmと一定にして、段付部深さを0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mmと変化させたときの結果を図7に示す。図の(a)は、前報¹⁾で示した段付部のない工具電極を用い、噴流も吸引もかけない場合の結果で、クリアランスは、0.20～0.25 mmでタル型形状が顕著である。これと比較して段付部を設けた(b)以下では、タル型形状は見られず、また、段付部深

図 6

さが増すにつれてクリアランスは徐々に低下し、その値は約 0.1 mm にも達し、段付部を設けることの効果が大きく現われている。これは、段付部を設けることにより、工具電極の側面での放電が非常になくなったためと考えられる。その裏付けとして図 8 に示すように、加工後の工具電極の側面の放電痕を観察しても明らかである。図の(a)は、段付部のない工具電極で、放電痕の認められる部分の長さが 9.3 mm ある。(b), (c), (d), (e), (f)は、それぞれ段付部深さが 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mm で、放電痕の認められる部分の長さが徐々に減っており、段付部深さが 0.5 mm の工具電極では、段を設けた部分には放電痕が見られず、この場合、側面放電はなかったものと考えられる。

次に、加工深さが 20 mm の場合のクリアランスを図 9 に示す。ここで、(b), (c), (d), (e)は、段付部深さが 0.5 mm と一定で、段付部厚さがそれぞれ 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mm である。(a)は、前報¹⁾で示した段付部のない工具電極を用い、噴流も吸引もかけない場合の結果で、クリアランスが 0.30～0.40 mm でタル型形状になっている。段付部を設けた(b)以下に示す例では、タル型形状は見られず、また、クリアランスも小さく、段付部厚さが 1.0 mm の場合が最も小さい値を示している。しかし、加工穴が深い部分で形状が円錐状になって悪化している。

ところで、加工後の工具電極先端の消耗状態は、図 10, 図 11 に示す通りである。なお、図 10 は、加工深さが 10 mm の場合の例で、段付部厚さが 0.3 mm の工具電極では、段付部が完全に消耗してな

図 7

図 8

くなっており、前述の図 6 の(a)に示すクリアランスが急激に小さくなり穴が円錐状になっている理由がこれによって明らかになっている。段付部厚さが 2.0 mm 以上では、工具電極の消耗は少ないが、クリアランスが大きくなり適当ではない。また、図 11 は加工深さが 20 mm の場合で、段付部厚さが 1.0

図 9

mm の場合、段付部の外径が減少しているため図 9 の(b)に示すように、クリアランスは加工深さの深いところで大きく変化し、その穴の形が円錐状になっている。しかし、段付部厚さが 1.5 mm 以上では、段付部の外径に大きな変化は見られないが、段付部厚さが 3.0 mm ではクリアランスは大きくなり、加工深さが 20 mm の場合は、本研究の実験範囲では、段付部の厚さは、1.5 ~ 2.0 mm がよいと思われる。

以上のことから、工具電極の段付部深さは 0.5 mm 以上が必要で、段付部厚さは加工穴深さ 10 mm のとき 1.0 mm、加工穴深さ 20 mm のとき 1.5 ~ 2.0 mm が適当と考えられる。

図 10

すなわち、段付部厚さについては、これが厚くなると前述のようにタル型形状を呈したり、クリアランスが大きくなる。また、これが小さいと段付部外径の減少が著しく、加工穴の穴径が小さくなるので、段付部の厚さは、加工深さに応じた適当な厚さがあると考えられ、これに関しては更に検討を加える必要があると思う。

3.4 加工速度および電極消耗率

加工深さが 10 mm の場合の加工速度と電極消耗率（重量百分率で示す）を実験的に求めた値を表 1 に示す。段付部の厚さを 1.0 mm と一定にして、段付部深さを 0.1 mm から 0.5 mm まで増加させたとき、加工

図 11

速度は若干減少する傾向にあるが、およそ 0.16 g/min である。また、そのときの電極消耗率は、1.2～1.5 % で大きな変化は見られなかった。次に、段付部深さを 0.5 mm と一定にして、段付部の厚さを 0.3, 1.0, 2.0, 3.0 mm と変化させたとき、加工速度は 0.15 g/min、電極消耗率は 1.2 % とそれぞれ一定の値を示した。これらと前報¹⁾の段付部のない工具電極による加工速度と比較すると、噴流も吸引もかけない場合は、段付部のないときの方が若干大きい値を示すが、噴流、吸引をかけた場合は殆どかわらない。また、電極消耗率については、噴流も吸引もかけない場合 3.0 % と高く、特に、噴流、吸引をかけた場合は 14 % と大きく、今回の実験と非常に大きな差がある。

これは、工具電極に段付部を設けたことによって、加工速度は若干低下したが、電極消耗率は非常に小さくなり、加工精度の向上が期待されるので、前述のクリアランスの減少も当然理解されるところである。なお、電極消耗率が低下した原因として、側面放電の減少が実現したことが考えられる。

4. 結 論

特殊な加工液の供給方法を採用しない場合に、工具電極にわずかな段付部を設けることによって、加

表 1 加工深さ 10 mm の加工速度および電極消耗率

段付部	加工の条件	加工速度 (g/min)	電極消耗率 (%)
有	$T = 1.0 \quad D = 0.1 \sim 0.5$	0.16	1.2～1.5
	$T = 0.3 \sim 3.0 \quad D = 0.5$	0.15	1.2
無	噴流・吸引なし	0.20	3.0
	噴流・吸引あり	0.15	14.0

工精度および加工性能にどのような影響をおよぼすかについて実験的検討を行なった結果、次のようなことが明らかとなった。

- (1) 本実験の範囲内で、加工速度は若干低下するが、電極消耗率が小さくなった。
- (2) 本実験の条件では、加工精度、特に、クリアランスおよび加工穴の形状精度の改善が見られた。なお、加工穴の真円度、底面形状等は、段付部を設けない場合と殆ど同じであった。
- (3) 段付部の深さは、0.5 mm以上が必要で、厚さには加工深さに応じた適当な大きさがあると考えられ、本実験の条件では、加工深さ10 mmで1.0 mm，加工深さ20 mmで1.5～2.0 mm程度が適当であった。

終わりに、種々御教示を賜った大阪大学工学部、井川直哉教授、森 勇蔵助教授に深甚なる謝意を表し、また、実験に際し協力された当時の京都工芸繊維大学学生・白岩昌紀君、竹村幸也君、中村忠夫君に感謝する。

(1979. 1. 27 受付)

参 考 文 献

- 1) 土屋八郎，井上友一，大森正巳：放電加工の加工精度に関する研究（第二報），電気加工学会誌 9巻18号（1976）p. 29-38
- 2) 電気加工学会関西支部編：放電加工の理論と技術，養賢堂（昭和47年）