

ワイヤ放電加工条件による面精度の向上に関する研究

渡辺 昇

福島工業高等専門学校 技術室

1 諸言

ワイヤ放電加工(Wire-cut Electric Discharge)は、電極(ワイヤ)と被加工物(ワーク)間に数万 Hz の高電圧パルスを間欠的に電弧放電(アーク放電)させ、この放電で発生した数千度の高熱によりワークを溶融して、平面の2次元形状切り出し加工を行うものである。ワイヤ放電加工の特徴としては、加工方法が非接触および溶融加工のため加工(切断)抵抗が非常に小さい、導電性材料であれば硬度や材質に関係なく(例えば、超硬材、熱処理済み材)加工できる点である。また、ワイヤ径は $\phi 0.02 \sim 0.3\text{mm}$ と細いため加工(切断)速度は著しく遅いが、複雑な形状も NC 形状制御により容易に加工が可能である。

本研究では、高硬度金型材である超合金を用い、ワイヤ放電加工において面精度(表面粗さ)をどこまで向上させることが可能かを検討するため、種々の加工条件(ON:放電時間、OFF:放電休止時間、V:無負荷電圧、SV:サーボ電圧、Ws:ワイヤスピード、Wt:ワイヤテンション)をコントロールし、加工条件の変動が面精度の向上に与える影響について評価することを目的とした。

2 加工原理

図1のように、ワイヤとワーク間に発生する放電現象を利用しワークを切断加工する。加工順序を以下に示す。

2.1 火花放電の発生

適切な張力で引っ張られながら供給されるワイヤとワークを対向させ、ワイヤの周囲を包むように脱イオン水を上下から吹きかけワークに向けてワイヤを送り込む。その隙間(極間)が数十 μm 程度近づくと、極間にかかっているパルス電圧によって脱イオン水で保たれていた極間の絶縁が破壊され火花放電が発生する。[図1①]

2.2 金属の溶融

火花放電が発生した箇所にパルス電流が瞬時に流れ込み、電流が維持している間アーク柱となって、これを中心としてワイヤおよびワークの一部が数千度の高熱にさらされ溶融が始まる。[図1②]

2.3 爆発と溶融金属の飛散

アーク柱を中心として、これを取り巻いている水も急激に温度上昇し即座に気化して、急激な体積膨脹を起こす。これによって、極間の一部に爆発現象が発生し、ワークおよびワイヤ表面の溶融金属を極間から吹き飛ばす。[図1③]

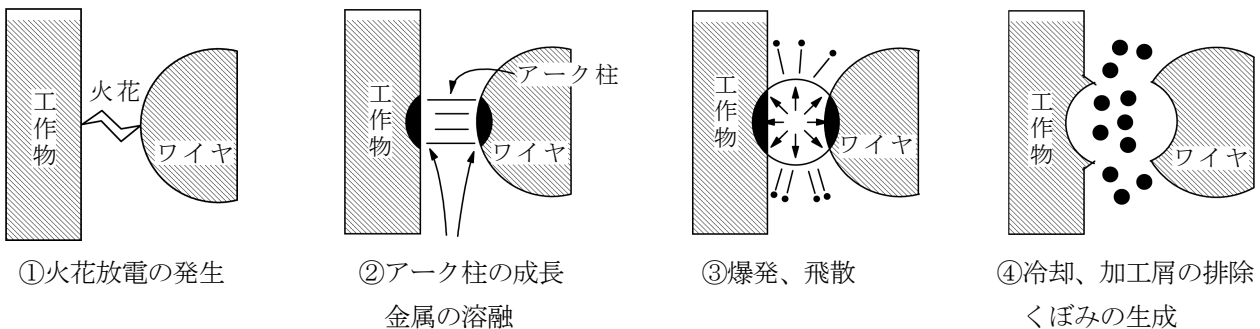


図1. 放電加工の原理

2.4 極間の冷却、加工屑の排除

電流の供給が終わると同時に極間にはきれいな水が流入し、溶融部分は冷却され、その跡にくぼみが生成される。極間は再び絶縁が回復し、次のパルス電圧の供給を待つ。[図 1④]

以上のように、パルス電圧 1 発ごとに金属の溶融、除去が行われる。その蓄積によってワイヤに向かい合ったワーク面に溝が形成され、ワイヤが NC 制御により輪郭形状に移動した軌跡によってワークがくり抜かれるように加工されることになる。

3 実験方法

3.1 加工材料

打ち抜き型、曲げ型などの金型材に使用される一般的な超硬合金 (WC-Co) を用い、硬度は HRA-88、抗折力 2.9KN/mm^2 、厚さは 6.0mm である。

3.2 加工機

Sodick-A325 (Sodick (株)) 機を用い、太さ $\phi 0.2\text{mm}$ の真鍮製ワイヤで引張り強さ 980N/mm^2 とした。

3.3 加工方法

各加工条件をコントロールし幅 3.0mm、長さ 6.0mm に加工した。この時の加工回数は 4 回までとした。

3.4 測定方法

表面粗さは、加工した表面の 3 ヲ所を任意に抽出し、表面粗さ計 (Surf-test301 (MITUTOYO (株))) を用いて、算術平均粗さ (Ra) で測定した。

4 実験結果および考察

各加工条件をコントロールして得られた表面粗さ (Ra) の定常的な関係を表 1 に示す。また、図 2 にサーボ電圧 (SV) と Ra の関係を、図 3 にワイヤテンション (Wt) と Ra の関係を示す。これらの実験結果を整理すると下項となる。

4.1 加工条件による検討

(1) ON (放電時間)

ON を長く設定すると、放電エネルギーが大きくなり加工速度は速くなるが、放電ギャップが広がるため形状精度や Ra は悪くなったりする。また、極間状態が不安定となりワイヤ断線が起りやすくなる。

(2) OFF (放電休止時間)

OFF を短く設定すると、一定時間内の放電回数が増えて加工速度は速くなり、ON を長く設定した時と同様に形状精度や Ra は悪くなったりする。また、短すぎるとワイヤ断線やショートが起りやすくなる。

(3) V (無負荷電圧)

極間に印加する V を高く設定すると、一回に放電されるエネルギーが大きくなり ON を長く、OFF を短く設定した時と同様に加工速度は速くなるが、形状精度や Ra は悪くなりワイヤ断線やショートが起りやすくなる。

表 1. 各加工条件と表面粗さの関係

		加工条件					
		ON 放電時間	OFF 放電休止時間	V 無負荷電圧	SV サーボ電圧	Ws ワイヤスピード	Wt ワイヤテンション
Ra 表面粗さ	細かい	短	長	低	高	速	高
	粗い	長	短	高	低	遅	低

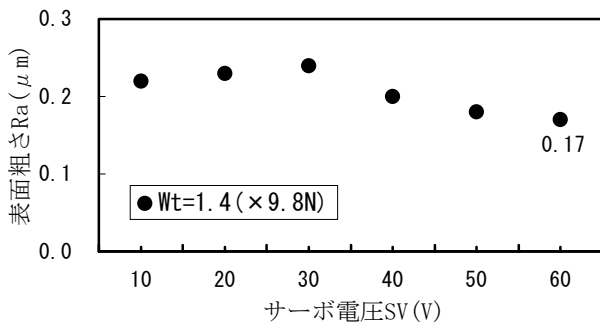


図2. サーボ電圧と表面粗さの関係

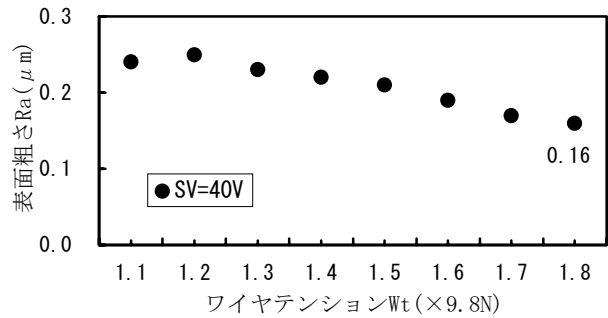


図3. ワイヤテンションと表面粗さの関係

(4) SV (サーボ電圧)

ワイヤの前進・後退の制御は SV の設定によって行われる。SV を高く設定すると極間距離が広くなり放電回数は減少し放電状態は安定するが、加工速度が遅くなり形状精度が悪くなる。しかし、放電状態の安定により表面粗さは良好になる。低く設定すると放電回数が増え、加工速度は速くなるが極間状態が不安定になり、ワイヤ断線の原因になる。

(5) Ws (ワイヤスピード)

Ws を速く設定した場合、ワイヤ径の消耗が少なくなるため放電状態は安定し加工速度は遅くなるが、形状精度や Ra は良好になる。しかし、必要以上に速くすることは、経済的負担も大きくなるので検討が必要である。

(6) Wt (ワイヤテンション)

Wt を高く設定した場合、極間状態が安定し放電状態も良好になり、加工速度は速く、形状精度や Ra は良好になる。しかし、高すぎるとワイヤ断線の原因になるため、放電によるワイヤ消耗（断面積減少）との関係について把握することが必要である。

以上の結果から、SV と Wt を高くすることで Ra の向上が認められることが明らかとなった。

4.2 面精度（表面粗さ）についての検討

SV を 40V、Wt を 1.4 (x9.8N) にした時の加工回数（カット数）と Ra の関係を図4に示す。1st カットでメーカー推奨条件より面精度を向上させることができ、回数が増すごとに精度は高くなり、4th カットでは Ra-0.13 μm と非常に高い面精度が得られた。高精度な Ra を要求する場合は、この他にも段階的に電気的条件やオフセット量を低くしながら加工を行うことが重要である。図5にカット数に対応

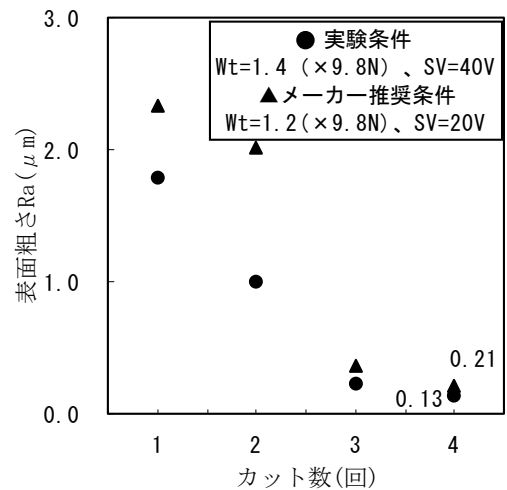


図4. カット数と表面粗さの関係

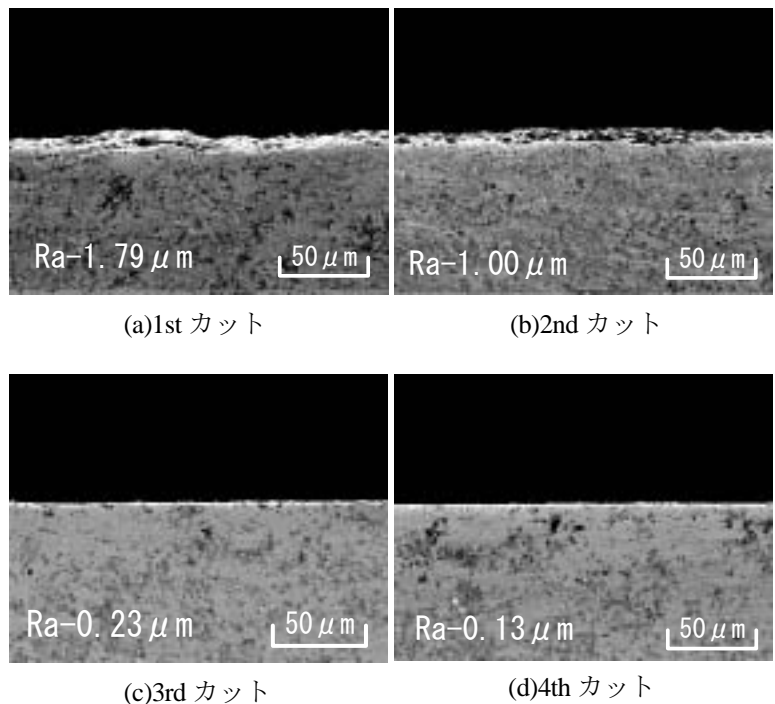


図5. カット数とワークの断面輪郭

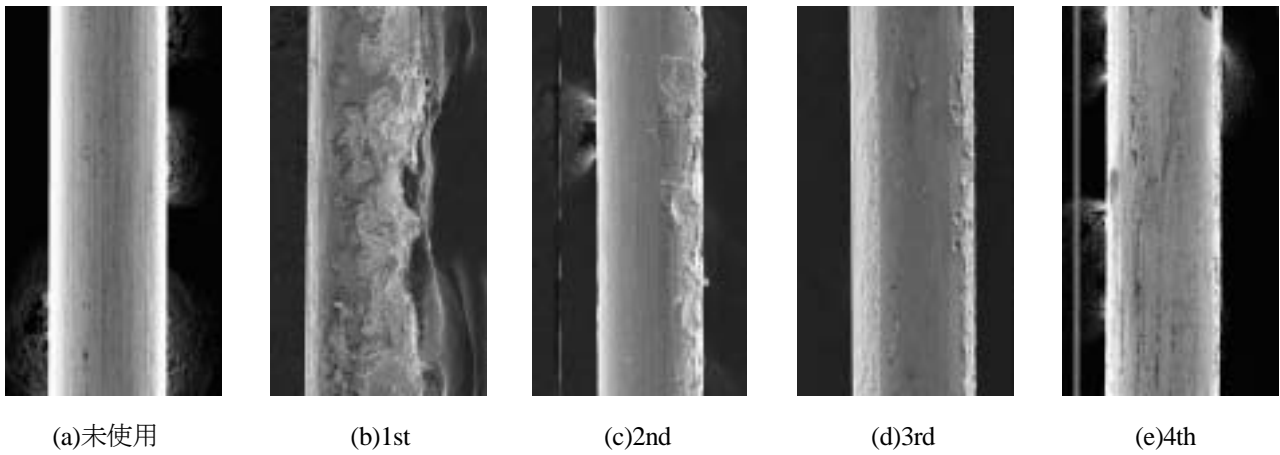


図 6. ワイヤ直径 0.2mm 表面の拡大写真

したワーク断面の SEM 写真を示した。上部が加工部で平坦になっていることが得られた。

この結果から、Ra の精度向上には SV と Wt を高くし、カット数を増やした条件設定が有効であることが明確となった。また、技術データでは新品ワイヤの線径許容差 $\pm 1 \mu\text{m}$ 、真円度 $1 \mu\text{m}$ 以内であり、 $1 \mu\text{m}$ 以下の精度コントロールには、ワイヤの表面精度も影響すると考えられる。図 6 にワイヤ直径 0.2mm 表面の拡大写真、図 7 にワイヤ直径 0.2mm 断面の拡大写真を示す。

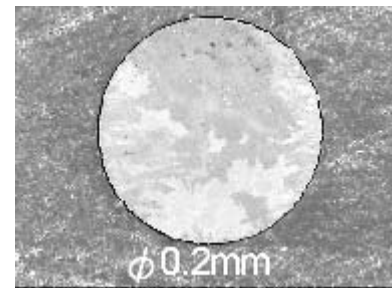


図 7. ワイヤ直径 0.2mm 断面の拡大写真

4.3 形状加工についての検討

適切な加工条件および加工回数等を設定することで、研削加工や超仕上げ加工、または、ホーニング加工に匹敵する面精度を得ることが可能となった。これにより、今まで困難とされていた高硬度材の形状および面精度も高精度に加工することが可能と考えられる。ワイヤ放電加工機の NC 形状制御を厳格に行うことで、複雑な形状も容易に加工でき、高精度の製品製作が期待できるようになった。

5 結言

高硬度材の超硬合金をワイヤ放電加工した結果、以下のことが判明した。

- (1) 各加工条件は、複雑に関わり合って面精度（表面粗さ）に影響を与えているが、面精度の向上には SV と Wt を高くし、カット数を 4 回程度まで行うことで、Ra- $0.13 \mu\text{m}$ までの面精度向上が実現した。
- (2) NC 形状制御を厳格に行うことで、複雑な形状も高精度に加工できる確信が得られた。
- (3) 面精度の向上に影響を与える条件因子は、作業者が選択できる項目と、選択できない項目ときわめて多岐にわたる。これらの、諸条件因子を十分に認識した上で加工を行う必要がある。

参考文献

- [1] “EDW 取扱い説明書”, Sodick (株), 1998
- [2] 眞鍋明, 葉石雄一郎, “ワイヤ放電加工”, 日刊工業新聞社, 1997
- [3] 富山直一, 大場信昭, “放電加工”, 日刊工業新聞社, 1999