

ついで
対電極による電解仕上げ

Electrochemical Finishing Using a Mate-Electrode

増 沢 隆 久*・酒 井 茂 紀**

Takahisa MASUZAWA and Shigenori SAKAI

ワイヤ放電加工により、複雑形状の切抜き加工が容易に行えるようになったが、熱変質層の除去、表面の平滑化などの仕上げ工程に多くの労力と時間を必要としている。本所では、これに対処するために、電解加工の原理を応用した手法「対電極法」を日本工業大学と共同で開発した。本法はワイヤ放電加工の切りかすを電解用電極として用い、わずか数秒で光沢面まで仕上げることができる方法である。

はじめに

ワイヤ放電加工は、抜き型をはじめ、複雑形状の金属加工法として重要な位置を占めるようになってきている。加工速度、精度の向上によることももちろんであるが、NCによる無人運転ができることで、その応用分野は極めて広い。しかし、加工原理が放電によるクレータの集積に基づいていることから、仕上げ面あらさにはある程度の限界があり、また加工により表面に熱変質層の発生が避けられない。ファーストカット（高速の加工、荒加工）では、あらさは $20\mu\text{m}$ 前後で、熱変質層も $20\sim 50\mu\text{m}$ 程度ある。また、ファーストカットで形状を生成した後、仕上げのために行うセカンドカットでも、あらさは通常 $5\mu\text{m}$ 程度が限度であり、さらに良い仕上げを得るためには極めて長時間（たとえば数時間から数十時間）加工を行わなければならない。

一方、最近需要増大が著しいプラスチック型などでは平滑な仕上面が要求される場合が多く、 $1\mu\text{m}$ 以下、また場合によっては鏡面が必要であることも少なくない。このような厳しい要求に対しては、セカンドカットを行うことで対処するのもはや困難であり、多くの場合やすりやラッピングによる手仕上げが行われている。この工程も、熟練を要するうえに、極めて長時間かかるのが普通で、一つの型の仕上げに数時間、あるいは大型のものでは数日間を費することとなる。

以上のような状況から、より短い時間で、しかも自動的に、ワイヤ放電加工製品を仕上げる方法が待望されている。

以下に解説する対電極法は、この問題を解決する手段として開発されたもので、条件さえ整えば、数秒という短時間で、表面あらさを1/10程度に逡減できる方法であ

る。対電極法は電解加工の原理に基づいているが、同じく電解加工を応用した手法で、すでに発表されている電解セカンドカットとの対比を含め、その原理、特性、特徴などを解説する。

電解を用いた表面仕上げ法

電解現象を利用した表面仕上げ法には、大別すると電解研磨、電解加工の二つの手法がある。

電解研磨は、不動態膜を生成しやすい電解液（リン酸系のものなど）を用い、低電圧、低電流密度で電解溶出を起こさせるものである。工作物材料と電解液の組み合わせが適当であれば、良好な光沢面を得ることができるが、除去速度が遅いため加工に時間がかかる。

一方の電解加工では、逆に不動態膜を生成しにくい電解液（食塩水など）を用い、高電圧（ $10\sim 30\text{V}$ ）、大電流密度で加工を行う。この方法は除去速度が大きい反面、電極間隙が小さく、かつ均一であることが必要であり、また、加工量や加工面性状に液流や気泡の影響が大きいなどの問題点がある。

筆者らは、上のうち、電解加工法を適用した仕上げ法として、電解セカンドカット法を提唱してきた。この方法は、図1に示すように、ワイヤ放電加工により輪郭加工を行った後に、工作物の位置はそのままに、加工液を電解液に交換し、電源を放電加工用から電解加工用に切り換え、放電加工時にたどった経路にそって（必要があれば若干のオフセットを与えて）電解加工を行うものである。この方法は、放電加工のNCプログラムがそのまま利用でき、また加工装置を共用できるので、放電加工の開始から、電解による仕上げ終了までをすべて自動化することが可能な点が優れている。また、ワイヤ電極を輪郭にそって移動させながら加工を行うので、前述のような電解加工にかかわる諸問題が生じにくい。しかし、加工時間は手仕上げに比べれば短縮されるものの、放電セ

*東京大学生産技術研究所 第2部

**日本工業大学

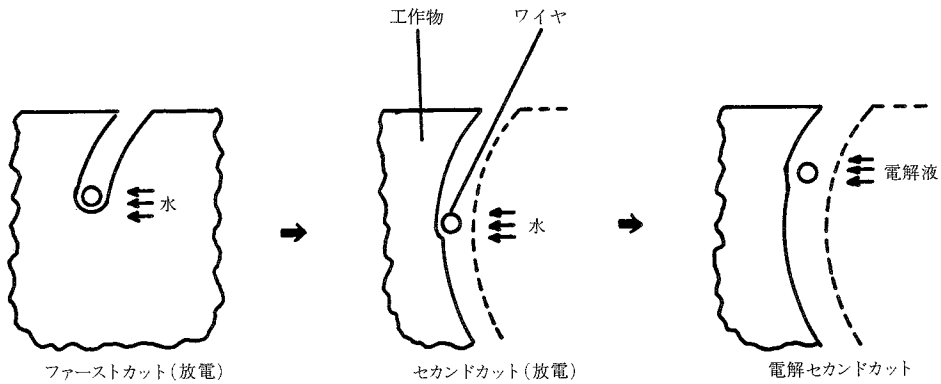


図1 電解セカンドカットによる仕上げ

カンドカット 1 回分と同程度を要する。また、仕上げ面は光沢面とすることができなかつた。

対電極法の提案

電解セカンドカットにおいて、途中で加工を停止した場合に、その停止位置の近傍で部分的に光沢のある表面が得られることが観察された。しかしワイヤで加工を行うかぎり、これを全加工表面に及ぼすことは困難であった。一方、いわゆる電解加工（成形した電極と液噴流を用いて電解により転写加工を行う）において、かなり光沢のある面が得られることも知られている。これらから考えると、比較的高い電流密度の条件で、かつ電流の供給、停止が全面同時に行われることが、光沢面を得るための必要条件であるように推察される。

ところで、ワイヤ放電加工を行うと、製品が得られると同時に、ほとんど同じ形状の切りかすが得られる。そこで、この切りかすを電極として用いることにすれば、ワイヤ放電加工された製品に対し、上述のような条件で電解仕上げを施すことが可能であると考えられる。もっとも、電解加工の電極としては通常銅が用いられているのに対し、この場合は製品と同一材質のものを用いることになるので、何らかの違いがある可能性は残される。反面、電解用電極を特別に成形する必要がなく、しかも、電解ギャップに相当するすきまも自然に確保されているという点で極めて好都合である。筆者らは、この方法がワイヤ放電加工面の変質層除去と光沢仕上げの有力な手段となるものと考え、その基礎特性を調べると共に、実用的な部品形状に対するテスト加工を行った^{2)~4)}。

この電極となる切りかすは、製品と対をなして生成されることから、対電極と名付けられた。また、対電極を用いる仕上げ法であることから、この方法を対電極法と呼ぶことにした。

対電極法の概念的な構成は図2に示すような簡単なものである。図のAが製品、Bが対電極であり、これらは

相互間のすきまが均一になるように、同一平面上に固定される。そして、このすきまを通して電解液が下から上へ（またはその逆に）流される。この状態で、十数Vから二十数V程度の直流電源を、製品側が+、電極側が-になるように接続すれば、製品側表面が電解溶出して仕上げ加工が行われる。電解液としては、食塩水、硝酸ナトリウム水溶液、塩素酸ナトリウム水溶液などを用いることが考えられる。もちろん、製品と対電極の形状は、極性を変えることで、相互に逆の関係であっても差し支えない。

この方法は明らかに電解加工法と同一の原理に基づいているが、実施上、次のような点で異なっている。

まず、電解加工では一般に電極を徐々に送り込んでいくことで、電極形状を工作物に転写するが、本法では、工作物（製品）と電極（対電極）の形状はもともと一致

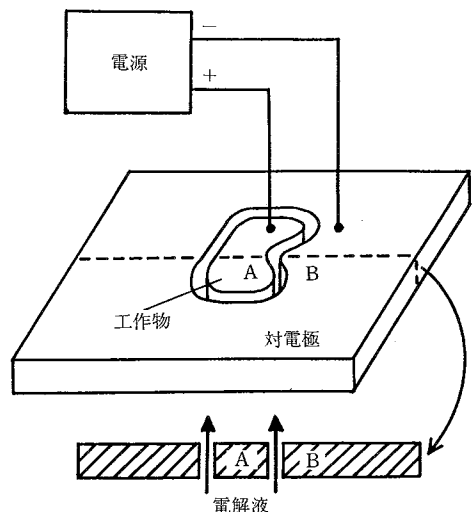


図2 対電極法による仕上げ

しており、双方を固定したままで、ギャップのみが広がっていくという形で加工が行われる。

次に、電極、工作物共固定されているので、短絡現象は原則として発生する心配がない。

また、電解加工では、大量に溶出した金属を含む廃液処理が大きな問題となるが、本法の場合は、形状生成は放電加工で終了しており、仕上げのみを行うので、金属除去量が極めて少なく、したがってこうした処理の問題が起りにくい。

対電極法の仕上げ特性

図3に示すようなセルを用いて行った実験により、各種パラメータと仕上げ面性状、加工量等の関係が明らかになった。製品と対電極に対応する角柱状の試験片が、端面が適当なギャップを介して対向するようにセル内に固定される。この端面はあらかじめワイヤ放電加工により切断された面である。このギャップを通して電解液が流れ、両試験片に加えられた電圧により電解電流が流れる。端面の寸法は5mm×10mmで、板厚10mmの材料をワイヤ放電加工した場合が想定されている。

このセルによりわかった特性は次のようなものである。

加工面あらさ

まず、仕上げ加工の最も直接的な目的である加工面あらさの向上については、図4のような結果が得られている。これはワイヤ放電加工による元の面あらさが約22μm R_{max}の面を仕上げたときの、通電時間に対する加工面あらさの変化を示したものである。ここでは代表的な

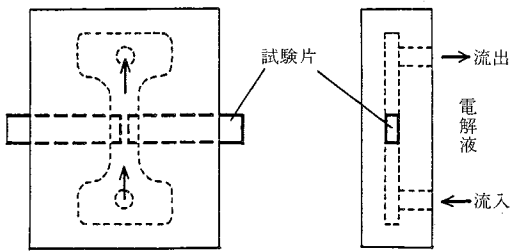


図3 電解セルと試験片の装着状態

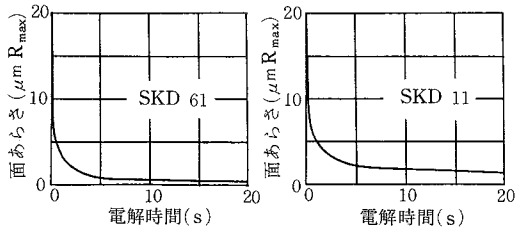


図4 面あらさの改善状況 (未加工面のあらさ: 22μm R_{max}, 電流密度50A/cm², 間欠電流, 電解液濃度25%wt)

ダイス鋼2種について示してあるが、他の材料もおおむね類似の傾向が得られている。図のように、加工面あらさは、通電開始後2~5秒程度で、もとのあらさの1/5以下まで急激に減少し、その後は徐々に減少するが、材料によりある値で飽和するよな傾向を示す。また、もとの面あらさがより小さい、たとえばセカンドカット面のような場合も、最初の数秒で1/5程度のあらさまで減少する。したがって飽和値も、もとの面あらさにより異なる。

また、あらさ値が飽和の傾向となる時間以上加工すると、うねりが徐々に増大する。

以上のような特性から、加工面あらさに関しては、加工時間2~5秒が必要十分であると考えられる。ただし、この実験の電流条件は、電流密度50A/cm², ON時間0.1秒, OFF時間0.5秒で間欠的に与えている。図中の電解時間は、ON時間の累積値を示している。

表面性状

仕上面のSEM像の例を、もとのワイヤ放電加工面と対比させて、図5に示す。仕上げ面は、電流密度50A/cm², パルス幅0.1秒の間欠電流で総通電時間2秒のものである。

このように、材料により若干の差があるが、仕上げ面は非常に滑らかである。写真でうねりのようにみえるなだらかな起伏が、図4でのあらさ値として検出されている。SKD11については材料内の炭化物結晶粒が溶出速度の違いから若干突出した状態となっており、これが飽和あらさ値を大きくする原因となっている。

加工面の外観は、加工条件によって大きく異なる。大別すると、光沢面または黒色面が得られる。どちらの仕上面が得られるかは、加工時間、加工液の流速、加工液濃度などがそれぞれ強く関与している。

図6に、光沢面と黒色面の得られる条件の境界を、加工液濃度をパラメータとして示した。境界値付近では、黒色面と光沢面が混在したり、白色で光沢のない面が得られるなど、中間的な状態の面となる。

図からわかるように、加工液濃度が高いほど、また、加工時間が長いほど光沢面となりやすい。加工液流速に関しては、2 m/s 付近を境として、それ以上であることが光沢面の条件のようである。ただし、この図の電流条件は30A/cm²の連続的な直流である。連続的の直流に比べて、間欠電流のほうが一般的に仕上面はより良好である。

なお、黒色面の場合でも、仕上面あらさは元の面の1/3程度に改善されており、用途によっては十分実用性がある。

加工深さ

放電加工の熱変質層を除去するには、加工深さもある

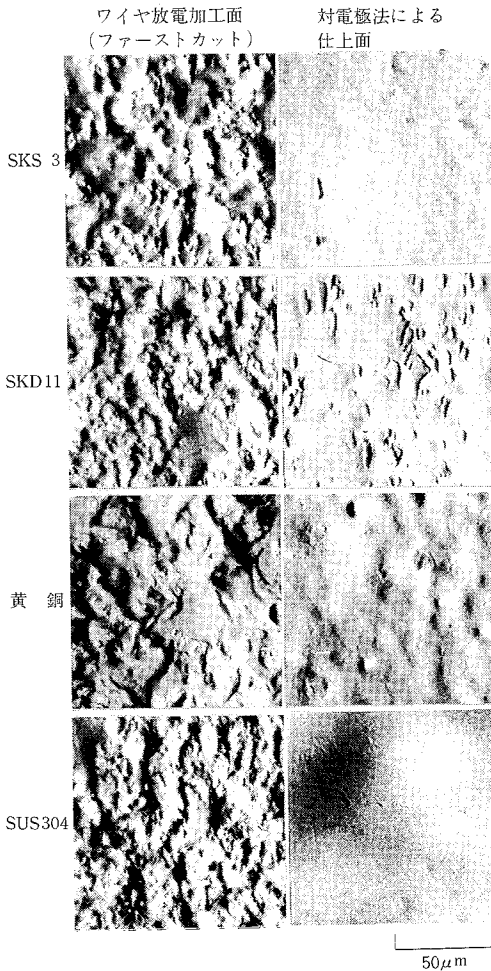


図 5 未加工面および対電極法による仕上げ面のSEM像 (電流密度50A/cm², 電解時間2s)

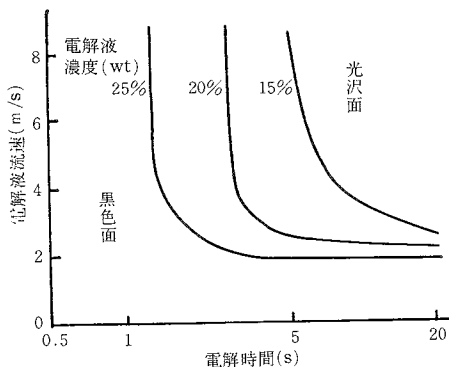


図 6 仕上げ条件による面性状の変化 (電流密度30A/cm², 材料SKS 3)

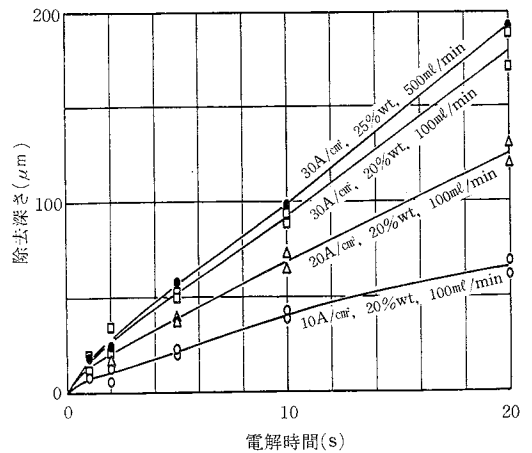


図 7 種々の条件における除去深さの時間的推移

程度以上確保することが必要である。

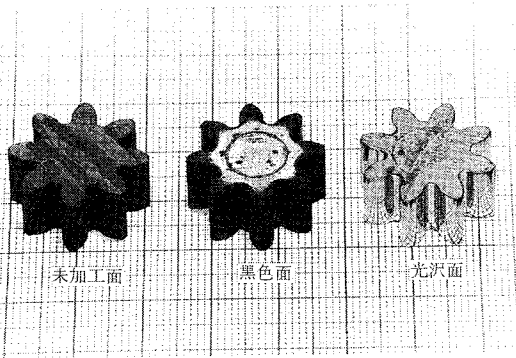
図 7 は通電時間に対する加工深さの変化を示したもので、おおむね時間に比例して増大している。ファーストカットの変質層除去を目的とする場合で、50μm程度加工するとすれば、30A/cm²で約5秒加工すれば良いことがわかる。セカンドカット面の仕上げであればさらに短時間で変質層除去の目的が達せられる。

角のまるみ

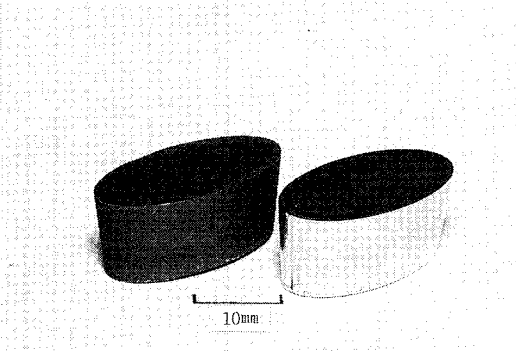
電解加工においては、鋭い角部分は溶出が優先的に起こり、丸みがつきやすい。対電極法により仕上げを行ったときの角のまるみは、光沢面の得られる条件の場合で、曲率半径150~300μm程度、またはそれ以上となる。用途により、これより鋭いエッジを必要とする場合は、平坦面を再研磨しなければならない。黒色面の条件の場合、および、間欠電流により加工した場合は、これより小さい曲率半径となる傾向がある。

実用形状の仕上げ加工例

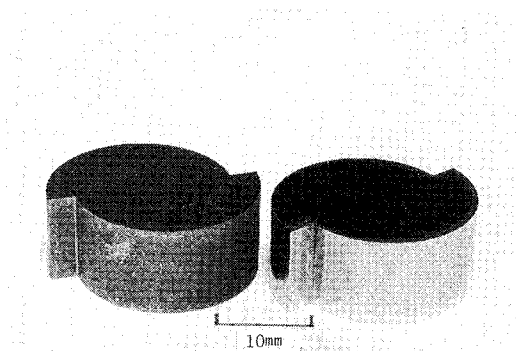
別途試作した実用試験装置により、種々の材料、形状について対電極法による仕上げ加工を試みた。そのいくつかの例を図 8 に示す。a)は歯車形状のSKS 3材の歯面を仕上げた例で、左端はワイヤ放電加工したままのもの、中央が黒色面が得られる条件で仕上げたもの、右端は光沢面が得られる条件で仕上げたものである。仕上げに要した時間は、間欠電流 (光沢面のもの) の場合の休止時間も含めて、いずれも約10秒である。b)はステンレス鋼 SUS304をテーパ加工したものを仕上げた例である。左側は仕上げ前のワイヤ放電加工面を示している。c)はダイス鋼SKD61をカム形状に切り出したものを仕上げた例である。



a) 歯車形状の仕上げ例
(材料: SKS 3)



b) テーパー加工製品の仕上げ例
(材料: SUS304)



c) カム形状の仕上げ例
(材料: SKD61)

図 8 各種形状製品の仕上げ例

このように、実用的な、またかなり複雑な形状のものが、対電極法により極めて短時間で仕上げられることがわかった。

ま と め

ワイヤ放電加工の製品を仕上げ加工する方法として、対電極法が提案され、加工変質層を取り除き、しかも光沢のある面が極めて短時間で得られることが示された。

対電極法の主な特徴としては次のような諸点が挙げられる。

- (1) 仕上げに要する時間が極めて短い、代表的な数値としては、通電時間で 2、3 秒、総処理時間で 10 秒程度である。
- (2) 高電流密度で電解液の濃度、流速が大の条件で鏡面に近い光沢面が得られ、逆の条件では黒色面となる。
- (3) 熱変質層は容易に除去される。
- (4) 複雑形状にも適用できる。
- (5) 処理中も特に騒音は発生しない。
- (6) 電気的にも、化学的にも安全性は高い。
- (7) 粉じんを発生しない。
- (8) 対電極は繰り返し使用できる。
- (9) 除去量が少ないので、電解に伴う精度低下は少ない。
- (10) (9)と同じ理由により、液処理上の問題も、通常の電解加工に比べ軽微である。
- (11) 鋭角部には、ある程度の丸みがつく。

今後は、信頼性を一層高めるために、対電極の位置決め、液流の乱れ防止などの適当な方法について検討が進められる予定である。
(1987年 3月24日受理)

参 考 文 献

- 1) 酒井茂紀, 増沢隆久: 電解セカンドカットによるワイヤ放電加工面の仕上げ加工, 精密機械, 51, 3 (1985) 147
- 2) 酒井茂紀, 増沢隆久: ワイヤ放電加工の加工対による ECM 仕上, 昭和61年度精密工学会春季大会学術講演会論文集 (1986) 977
- 3) 酒井茂紀, 増沢隆久: ワイヤ放電加工による加工対の ECM 仕上げ, 電気加工技術 10, 29 (1986) 1
- 4) 酒井茂紀, 増沢隆久: 放電加工面の ECM 仕上げ法 (第 1 報) — 材料による面性状の違い —, 昭和61年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, (1986) 729