放電加工における放電点分布の観察*

国枝正典**

Study on Distribution of Spark Locations in EDM / Masanori KUNIEDA

Key words: electrical discharge machining (EDM), wire EDM (WEDM), spark location, detection of spark location, eroded chip, localized discharge

1. はじめに

放電加工において電極と工作物間の放電が生じる点は、ほとんどの場合極間隙に沿ってただ1か所である。その理由は、いったん絶縁破壊が生じた場合は蒸発金属原子とその電離イオンや電子などからなるプラズマに包まれ、ほかの場所に比較して極端に電流が流れやすくなっているからである。したがって、放電加工では加工エネルギーの供給をパルス的に行い、休止時間中に前の放電で生成したプラズマを十分消沈させてから次のパルスを立ち上げている。それによって1回の放電ごとに微少な放電痕が生じ、その繰返して電極形状が工作物に転写されていく。

その際、次に放電が生じる点がどのような規則に従い決定されるのかを考察することは、加工現象の把握にとって非常に重要な問題である。極間距離の狭いところから順番に発生すると言うには極間の様相はあまりに複雑である。図1は加工中の極間距離の分布¹⁾と加工くず直径の測定結果から描いた極間の想像図であるが、極間距離に対して加工くず直径が無視できないほど大きいことが分かる。また、筆者ら²⁾の観測によると極間のほとんどは気泡で満たされていることから、図のように気泡と気泡の境界に存在するわずかな加工液中に加工くずが密に存在することが予想される。このような導電性を持つ加工くずの濃度の大小が極間距離に大きく影響することは増沢ら³⁾によって以前より指摘されている。また、Fujitaら⁴⁾の実験によれば、放電点を中心に広がった気泡中のプラズマの消

沈が不十分であると、次のパルスでプラズマ中に放電が生じる確率が高い。したがって、電極ならびに工作物表面の凹凸だけで次の放電点が決まるとは考え難い。

このように放電点の分布は放電加工のプロセスに本質的な関連があるにもかかわらず、放電間隙が狭い上に放電の頻度が極めて高い故に直接観察は困難であり、従来ほとんど解明はなされていなかった。ところが近年になって放電点を検出しようという試みがなされ、今まで未解明であった加工現象のいくつかが明らかにされつつある。

2. 放電点の検出法

筆者ら⁵⁾と小原⁶⁾が同じころに考案した検出法を図2に示す。加工電流 i_0 を電極の両端に分けて供給し、各々の電流値 i_1, i_2 を電流センサを用いて測定する。

図1 極間隙の模式図

* 原稿受付 平成3年3月19日

** 正会員 東京農工大学工学部(小金井市中町2-24-16)

図2 放電点検出の原理

分岐点Oから給電点Q₁、Q₂までの給電線の抵抗値 r_0 と、電極との接続部の接触抵抗値 r_c は一定であるが、Q₁、Q₂から放電点Pまでの抵抗 R_1 、 R_2 は放電点の位置によって変化する。したがって、 i_1 と i_2 の配分比から放電点Pが検出できる。

大面積の形彫り加工における2次元的な放電点分布を検出する⁷⁾には、図3のように工具電極の4辺に沿って取り付けられた4枚の給電板に分割して加工電流を供給し、対向する2組の給電板の各々の組合せからX、Y軸方向の放電点座標を求める。検出は毎回の放電についてインプロセスで行われ、同時にパソコンのメモリーに記憶される。したがって、時間的に相前後する放電点の空間的位置関係を詳細に検討するためだけでなく、長時間にわたる放電点分布の変化も観察できる。

一方、ワイヤ放電加工の場合は、もともとワイヤへの給電が工作物を挟む上下給電子に分けて行われているので、原理的には上下給電線に電流センサを取り付けるだけで放電点Pが検出できる。しかし、実際にはワイヤが給電子上を走行することによる接触抵抗の変動

が、検出された放電点のばらつきの原因となる。また、形彫り放電加工に比べてパルス幅が極端に狭くピーク値の大きな急峻な電流波形を用いていることから、上下給電線とワイヤとで作るループのインダクタンスの影響で上下電流値に差が生じ難いことや、高周波特性の優れた検出回路が必要とされるなどの困難をともなう⁸⁾⁹⁾。

なお、放電点を検出するための他の方法としては、Ydreskogら¹⁰⁾やMutoら¹¹⁾が試みているように、放電点で発生する超音波信号を利用して三角測量の原理で放電点位置を検出する方法がある。しかし、連続した放電の中で時間的に相前後した放電による超音波信号が重なり合うことや、放電による電磁ノイズが重畳して信号との識別が困難であるなどの問題があり、実際の放電加工における連続的な放電点の検出はまだまだなされていないようである。

3. 放電点の偏在現象の観察

3.1 放電偏在現象

以前より形彫り放電加工において放電点が偏在し、偏在部分が時間とともにゆっくり移動する現象があることが知られていた。このような偏在が生じると偏在部分の加工が優先的に進められ、その部分だけ極間距離が増大するので加工精度が低下する。また、偏在の程度が激しくなり放電が連続的に同じ場所に生じるようになると、前の放電によるプラズマ中に放電柱が形成されるが、その場合の放電柱直径は大きくエネルギー密度が低いので、除去効率の減少による加工速度の低下や、放電集中による工作物表面の損傷を引き起こす。このような偏在・集中現象の存在は、極間から浮上してくる気泡や極間から漏れる放電の光の位置を観察することによって予想されていたが、上述の検出法によって初めて存在が明らかになった¹⁾。

3.2 偏在のメカニズムの解明

加工断面が長方形(105×14 mm)のグラフアイト電極を使用して形彫り加工を行い、長軸方向の放電点の1次元分布を測定した。図4は加工深さの増大に伴う放電点分布の変化を示す。横軸は放電50回につき1回の放電点検出を行った場合の検出回数であり、8000回分は電極のジャンプ動作に要する時間を含めて約3分間の現象を示す。縦軸が放電点位置を示し、ひとつの点が1回の放電を表す。

加工深さが浅く加工くずの排出が容易と思われるときは放電点が加工面全体に均一に分

図3 放電点の2次元分布の検出方法

(a) 放電が安定しているとき (加工深さ 0.1mm)

(b) 周期的な偏在 (加工深さ 2.2mm)

(c) 局所的な偏在 (加工深さ 3.5mm)

(d) 異常放電 (加工深さ 7.9mm)

加工条件：ピーク電流 21 A，パルス幅 200 μ s，休止時間 40 μ s

図4 放電点分布の観察

布している。その時の主軸のサーボ送りは振幅の小さい単調な下降を示していた。加工深さが 2.2 mm になると電極長の半分程度の広がりを持った偏在が生じ、

図5 極間距離の分布

偏在箇所が電極の左右に周期的に移動する現象が現れる。さらに加工が進み加工くずの排出が困難になると図 4 (c) のように偏在領域が狭くなり、偏在箇所の移動が不連続になる現象が観測できた。その時のサーボ送りは単調ではなく、一定の領域内で偏在している間は偏在していないときより大きな送り速度を示すが、偏在箇所の移動の瞬間にサーボ送りが後退し、鋸歯波状の動きを示すことが分かった。また、図 4 (c) の 9 000 回サンプル直後に加工機を止めて電極長手方向の極間距離の分布を測定すると、図 5 に示すように偏在していた部分の間隔がほかより大きいことが分かった。したがって、偏在のメカニズムは図 6 を用いて説明される。加工くずが排出されにくい状態になると加工くず濃度の高い部分の絶縁破壊強度が低下し偏在が生じる (a)。偏在箇所ではますます多くの加工くずが生産されるので、ほかより間隔が広がっても放電が偏在し続ける (b)。しかし、いつかはほかに偏在が移動し、その瞬間主軸は後退する (c)。こうして (b) から (e) の過程が繰り返される。

加工深さがさらに深くなると偏在が顕著になってプラズマに広く包まれた部分ができ、放電が集中して加工の継続が困難となる (図 4 (d))。この状態がいわゆる異常放電であり、大きな溶融痕によって工作物表面は損傷を受ける。

3.3 大面積加工における放電点分布

図 3 に示した方法を用いて 2 次元の放電点検出を試みた⁷⁾。図 7 の外枠は電極外形を示し、その中に測定された 1 000 点の放電点がプロットしてある。各点の

図6 放電偏在のメカニズム

加工条件：ピーク電流 21 A，パルス幅 200 μ s，休止時間 60 μ s

図7 大面積加工の場合の放電偏在

サンプルは放電 50 回ごとに連続して行った。加工くずの排出を促進するために電極の周期的なジャンプを行っているのだが、加工くずの排出が十分でないため中心部に放電が集中しているのが分かる。中心部に集中しやすい原因は、中心部が加工液の流れのよどみ点だからであろう。

3.4 加工条件による放電点分布の相違

実験の結果、下記のように一般に放電が不安定で加工し難いと言われる加工条件において、必ず放電偏在や集中が見られることが分かった。

- (1) 大面積加工，深穴加工
- (2) 仕上加工（極間距離小）
- (3) サーボ電圧が小さいとき（極間距離小）
- (4) 休止時間が短いとき
- (5) 導電性セラミックスの加工⁸⁾

理由は、(1)～(3)については加工くずの排出が困難であるからと思われる。(4)についてはプラズマの消沈が不十分の内に次のパルスが立ち上がるからであろう。また、良電導体の混入によって導電性をもたらしたセラミックスの加工においては、加工くずの多くは絶縁体なので極間距離が狭く加工くずの排出が困難であり、偏在が生じやすいものと考えられる。

3.5 ワイヤ断線の原因

小原ら⁶⁾⁹⁾や筆者ら⁸⁾は WEDM におけるワイヤ断

線の瞬間の放電点分布を観測し、ワイヤ断線の原因が放電の集中によるワイヤの溶断であることを明らかにしている。

4. 今後の展望

以上のように放電点分布は、放電加工の安定性を表す本質的な指標であるから、放電点分布をモニタすることによって加工状態を把握し、様々な適応制御が行える可能性がある。また、従来加工電圧や電流のパルス波形から加工状態を判断していることが多かったが、放電点分布がパルス波形に及ぼす影響が明らかになれば放電状態とパルス波形の変化との因果関係が明確になるので、波形による異常診断がより確実に行えるようになると思われる。

参考文献

- 1) 小島弘之，中野秀明，国枝正典：形彫り放電加工における放電点の偏在現象の研究，1990 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集（1990）687.
- 2) 宮島謙治，国枝正典，増沢隆久：放電加工間隙の気泡挙動の観察，昭和 62 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集（1987）723.
- 3) 増沢隆久，佐田登志夫，木下夏夫：放電微細加工における加工屑の役割，精密機械，37，9（1971）680.
- 4) I. Fujita, T. Kamitani & T. Tanimura: Motion of the Discoidal Cavity and its Ignition Property by a Single Discharge in a Narrow Gap under the Insulating Liquid, ISEM-9, (1989) 293.
- 5) 吉田啓也，小島弘之，国枝正典：多点給電法による形彫り放電加工の放電点検出，1989 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(1989) 499.
- 6) 小原治樹：放電加工の放電点位置に関する研究 (1)，(2)，電気加工技術，13，43（1989）1.
- 7) 小島弘之，中野秀明，国枝正典：分割給電による EDM 放電点の 2 次元的分布の観察，1991 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(1991) 459.
- 8) 樊 明旭，国枝正典：ワイヤ放電加工の放電点分布の観察，1991 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(1991) 457.
- 9) 小原治樹，B. Brown，奥山裕二，米屋政友，井岡忠昭：放電加工の放電位置検出に関する研究 (3)，電気加工技術，15，48（1991）25.
- 10) L. Ydreskog & A. Novak: A Method for EDM Spark Location Detection, ISEM-9, (1989) 297.
- 11) K. Muto, Y. Shiota & S. Futamura: Study on Observation of EDM Processing and Monitoring of Discharging Point with Acoustic Emission, ISEM-9, (1989) 301.