放電加工による金型の表面改質法

福 澤 康*

*長岡技術科学大学 機械系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

Surface Modification Method for Metallic Mold by Electrical Discharge Machining

Yasushi FUKUZAWA*

*Nagaoka University of Technology (1603-1, Kamitomioka-cho, Nagaoka-shi, Niigata 094-2188)

Key Words : Surface Modification, Electrical Discharge Machining, Compressed Powder Electrode

1. はじめに

放電加工は導電性材料を被加工物として、材料の硬さに関係無く、任意形状を加工できるという利点を有することから、金型加工には不可欠な手法となっている。しかしながら放電痕の存在から表面粗さが大きいことや、高硬度材料では加工面にき裂が生じるといった問題があり、最終仕上げ加工には他の研削・研磨手段が必要であると認識されている。

斎藤・毛利らは、粉体混入加工による鏡面加工法¹⁾や圧粉体電極による表面改質法^{2),3)}などを開発して、これまでの放電加工の欠点を克服する新しい技術展開を実施している。これらの方法は、CVD、PVDなどの他の表面改質法と異なり、真空条件無しで市販の放電加工機1台により金型形状加工と表面改質ができるという利点を有し、工程の省略といった点から金型加工には有効である。

このように、近年放電加工を用いた新しい試みが展開されている。本報では、著者らが行っている放電加工による金属への表面改質法を中心に、その手法の概要・改質層の機能について紹介する。さらに、著者らが最近開発した、一種の表面改質法を応用した「絶縁性材料の放電加工法」⁴⁾についても紹介する。

2. 放電表面改質法の概要

加工油中の放電加工において、加工面に、加工油の解離による炭素膜の生成や電極成分およびその炭化物の付着が認められる条件があることは以前から知られていた。この現象を積極的に応用した方法が、いわゆる「放電表面処理」法である。Si(シリコン)電極を用いて、鋼材表面にアモルファスの膜を形成させ、耐腐食性を向上させた例²⁾、Ti(チタン)またはTiC(炭化チタン)の圧粉体電極を用いて、鋼材表面にTiC膜形成させた例などがある³⁾。さらに、最近、著者らの研究室では、液体窒素中での加工によりTiN膜生成にも成功している⁵⁾。

以下に著者の研究室で行った、ステンレス鋼に対する表面改質実験を紹介する。

3. ステンレス鋼の表面改質

3. 1 実験方法

放電表面改質法では、電極成分を被加工物につける場合と加工

油の成分である炭素との化学反応を利用して、炭化物生成物を付着させる場合とがある。後者は、加工油の熱分解現象を利用した方法で、TiC膜生成や絶縁性材料の加工において利用している手法である。

図1に、実験装置の概略図を示す。加工機には市販の形彫放電加工機を用いている。加工雰囲気は、放電加工油を主に用いるが、比較のため精製水、大気での加工も一部実施している。加工特性に及ぼす加工条件の影響として、無負荷電圧、放電電流、放電パルス幅、デューティファクタ(D.F., パルス幅/パルス幅+休止時間)、回転電極速度などの因子について調べている。加工特性としては、付着層の硬さ、膜厚さ、膜生成速度、表面粗さなどで評価している。電極は、φ22の圧粉体を固体先端に接着させて用いている。比較のために、同じ径の固体電極も用いている。本報では、粉末として、アルミニウム、銅、チタン、モリブデンなどの金属粉末や、導電性のSialon(サイアロン)+TiNセラミックスを用いているが、WC(タングステン・カーバイド)、TiC(炭化チタン)などを用いた報告もある³⁾。

なお、本報では、鋭敏化処理を施した市販のステンレス鋼を被加工物として用いた。

3. 2 生成条件の影響

3. 2. 1 加工雰囲気

Sialon+TiN粉末の圧粉体を電極として、加工雰囲気(加工油、大気、精製水)による加工表面の状態変化を調べた例について述

図1 実験装置の概略図

べる⁹⁾。この場合いずれの加工雰囲気でも、電極成分が被加工物表面に付着することが判明している。ただし、大気中加工では、付着力は弱く簡単にはく離する。これに対し加工油、水中では、付着力の強い層が形成されたが、水中加工では局所的な電解腐食領域が検出され表面粗さも大きくなった。この結果、安定した放電は加工油加工で得られると判断した。以後主に加工油中での加工について述べる。

3. 2. 2 工具電極材料

工具電極としては、通常の固体と極間に大量の粉末を介在させることを目的とした、粉末を固めた圧粉体がある。いずれの電極材料の場合でも、電極成分は被加工物表面に転移するがその付着生成速度は、圧粉体の方がかなり早い。以下には、圧粉体電極を用いた場合の結果について述べる。

平均粒径、22、88 および 125 μm のアルミニウム粉末で成形圧力 40[MPa]、加圧時間 5 分の条件で粒径の影響を、平均粒径 22、100 μm のアルミニウム、銅の粉末で成形圧力の影響を調べた。結果を図 2、3 に示す。加工条件はいずれも、電圧：130 V、電流：5 A、パルス幅：8 μs 、D.F.：50%である。なお、表面における電極材料の付着状況は、表面粗さ Rmax を用いて表示している。図から、アルミニウム粉末の場合には、ステンレス鋼表面に形成された付着膜の表面粗さおよび膜厚さには、圧粉体の粉末粒径はほとんど影響しない。また、比重の小さいアルミニウムでは、圧粉体形成圧力は、表面粗さ、膜厚ともほとんど影響しないが、比重の大きな銅の場合には、成形圧力が増加するに従い、表面粗さ、膜厚とも急激に減少する。成形圧力を小さくすると、圧粉体の結合力が弱く放電の際の熱衝撃により電極を形成している粉末が分離し易くなり、極間に存在する数量は増加し被加工物表面へ付着しやすくなることなどが分かる。比重が大きい粉末では、分離した粉末が沈降して被加工物表面に存在する確率が高くなるため、付着量は増大すると推定している。しかしながら、成形圧力を弱くして、極間の粉末量を多くしても、加工面で付着作用に直接寄与できる以上の粉末は、膜上に軽く付着しているだけで、加工後超音波洗浄をかけることで簡単に除去された。除去されない膜厚は、10 μm 程度である。なお、Si 粉末混入による表面改質も試みたところ、き裂はほとんど観察されず光沢の有る滑らかな加工表面が得られている。加工面粗さは、通常加工の 1 / 3 程度まで向上している。なお、加工表面には Si の付着も観察

される。

3. 2. 3 加工条件

電極極性を(－)とすると、被加工物表面には電極と被加工物成分の複合化した生成物が認められる。これに対して、電極極性(＋)の場合には、被加工物および電極の炭化物が検出される。以下はすべて電極極性(－)で行っている。

電流値、パルス幅、電極回転速度、加工時間などの加工条件による生成膜の特性変化を、アルミニウム粉末を用いて調べた。圧粉体の成形条件は、平均粒径：22 μm 、成形圧力：40[MPa]、加圧時間：5 分で、電圧：130 V、電流：5 A、パルス幅：8 μs 、D.F.：50%の加工条件で、加工時間による表面膜形成の変化を調べた。図 4 に、表面膜厚さ、硬さと加工時間との関係を示す。膜厚・膜硬さとも 5 分以内でほぼ定常値に達する。これに対して表面粗さは 60 分程度まで増加した後飽和する。表面粗さが増加するのは、形成された表面膜が加工されるのと膜形成が交互に行われているためであると推定している。

次に放電電流の影響を、図 5 に示す。加工条件は上記と同じで、電流値のみを変化させた。加工時間は 5 分とした。電流値 8 A で膜厚さは 10 μm 程度に収束し、表面粗さは電流値の増加にともない増大した。電極消耗量は電流値の上昇にともない増大する。このことから、表面粗さの増大は、過剰の電極成分の供給に関連すると思われる。

放電パルス幅の影響を、図 6 に示す。加工条件は上記と同じでパルス幅のみを変化させた。表面粗さ、膜厚さとも、50 μs 程度まで増加しその後定常となる。また、電極消耗量は 10 μs 程度まで減少し、それ以後定常状態となる。このように、パルス幅を 50 μs 程度とすると膜厚自体は厚くできるが、表面粗さは大きくなるので、電極消耗量、表面粗さとも小さくなる 10 μs 程度のパルス幅が、本実験の場合には、加工条件として適していると考えている。

放電を分散させ、均一厚さの膜形成加工を目的として、電極の回転加工を行った。結果を、図 7 に示す。表面粗さは、数 10 rpm の回転動作を付加するだけ、1 μm 以上改善できるが、膜厚も同程度減少するので、表面層の加工に寄与する放電の割合が、回転速度の上昇とともに多くなることを示している。

3. 3 多層膜の作製

これまで得られた表面層膜の厚さは、約 10 μm 程度であり、

図 2 圧粉体粒径の加工面特性に及ぼす影響

図 3 圧粉体成形圧力が表面層特性に及ぼす影響

図4 加工時間と表面層特性

図5 放電電流値と表面層厚さおよび電極消耗量

これ以上の膜厚形成は、かなり難しい。そこで、膜厚の向上および傾斜機能層形成の可能性を調べた。アルミニウム、モリブデン、アルミニウムのように、融点、熱伝導率、電気抵抗など物理的性質が互いに異なる材料を電極として交互に加工することにより多層膜化できることが明らかとなっている⁶⁾。

3. 4 溝形状への摘要性

被加工物表面上き裂の補修や階段形状を持つ複雑形状への適用なども考えられる。このため溝加工した被加工物への加工も行なった。溝幅は、1および0.3mmとし深さを0.1から1mmまでの間で数段階加工した。また、直径3から0.5mmの半球状の穴加工をした表面にも本手法を用いた。断面観察から表面の幅、径と同程度の深さまでは、ほぼ均一に生成物は付着し、それ以上深くなると付着していない領域が観察されるようになる。すなわち、幅が狭く深い形状には大きな径の電極では限界が生じるので、深さ方向のき裂補修などにはかなり微細形状の電極が必要になる。

3. 5 表面膜の機能性

Cr粉末の圧粉体を電極として、表面改質を行ない、50% HClと王水中での腐食試験およびラッピング盤を用いた摩耗試験を実施した。その結果、加工表面層はHClにはほとんど腐食されず、王水には少し腐食された。また、耐摩耗性は、母材の1/8程度

図6 放電電流パルス幅と表面層厚さ、電極消耗量

図7 電極回転加工が表面層特性に及ぼす影響

まで向上した⁶⁾。

3. 6 絶縁性セラミックスの放電加工

加工が容易であれば、耐摩耗性、耐食性などの機能性の点からセラミックス金型は、従来のものより多くの優位性がある。しかしながら、焼結後のセラミックス材料は、高硬度・脆性のため、通常の機械加工法では困難であることが多い。特に絶縁性セラミックス材料に対しては、放電加工も不可能であるとされていた。しかしながら、近年、著者らは‘補助電極法’と名付けた手法により、絶縁性材料に対しても放電加工による3次元複雑形状加工が、導電性材料と同じような可能となっている⁴⁾。この手法では、被加工物表面に密着させた導電性材料から加工を進ませ、被加工物表面に導電性膜形成の切っ掛けを作る。その後はこの導電性膜形成と加工をする放電が交互に繰り返して発生し加工は継続する。

(a). ワイヤ放電加工による文字加工(板厚3mm)

(b). ワイヤ放電加工による厚板の加工(7mm)

(c). 星形電極による形彫放電加工
(左側は補助電極除去後)

(d). 曲面加工の例

(e). 放電加工による雌ねじ加工

(f). 同時加工した100ピン電極(φ0.3mm)
による多数穴加工(ZrO_2 ; 厚さ0.2mm)図8 絶縁性セラミックス(Si_3N_4)の放電加工例

この加工によりセラミックス表面には、50~60 Ωcm 程度の比電気抵抗を有する導電性膜皮膜が形成される。この導電性膜の主成分は、加工油の熱分解で生じたと考えられる炭素であり、被加工物の炭化物や、電極成分も観察される。図8に本手法で加工した絶縁性セラミックスの形状加工例を示す。

4. 結 言

近年、放電加工法による表面改質手法の試行が開始され、初期に期待された以上の成果を出している。電極材料の被加工物表面への堆積という、加工とは逆方向の試行であり、加工と堆積条件をどのように使い分けるかが本手法の適用要件である。また、高温での反応生成物の発生と言う点からすると、金属間加工物との複合化表面の作製なども期待でき、材料学的にもさらに新しい展開が見込まれる。金型への適用からすれば、大面積での均一膜厚

の形成と表面粗さの向上などが今後の課題である。

(2001-7-5 受理)

文 献

- 1) 成宮久喜, 毛利尚武, 斎藤長男; 1989年精密工学春季大会, No. 1103
- 2) 鈴木正彦, 毛利尚武, 斎藤長男; 精密工学会誌, 53, 2, (1987) 249
- 3) 斎藤長男, 毛利尚武, 他; 放電加工技術, 基礎から将来展望まで, 日刊工業新聞社
- 4) 福澤 康, 谷 貴幸; 高温学会誌, 23, 4 (1997) 131-135
- 5) ムッタマラ アピワット, 福澤 康, 毛利尚武; 精密工学会春季大会, 2001 G 32
- 6) Yasushi Fukuzawa, Yo Kojima, Eiichi Sekiguchi, Naotake Mohri; ISIJ International, 33, 1993, 9, 996-1002