A19 放電加工成形された微細軸の強度評価とその極小径切削工具製作への応用

Strength evaluation of EDMed micropins and its application to fabrication of ultrasmall-diameter cutting tools

○非 山中宏太 (京工繊大) 非 稲永昌大 (京工繊大) 正 江頭 快 (京工繊大)

Kota YAMANAKA, Masahiro INENAGA and Kai EGASHIRA
Kyoto Institute of Technology, Goshokaido-cho, Matsugasaki, Sakyo Ward, Kyoto

Few studies have been carried out on the effect of electrical discharge machining (EDM) conditions on the strength of workpieces processed by micro-EDM. The bending strength of cemented tungsten carbide 5- μ m-diameter micropins fabricated by micro-EDM was therefore investigated. Although the bending strength increased with a decrease in the electrical discharge energy at the finish machining of micropins, it decreased at smaller discharge energy. The result of the bending strength test was then applied for the EDM fabrication of cemented tungsten carbide ultrasmall-diameter cutting tools. Tools with a long tool life were successfully fabricated.

Key words: micro-EDM, micropin, bending strength, cemented tungsten carbide, micro-cutting tools

1. はじめに

放電加工面にはマイクロクラックや微小孔などの表面欠陥が生じ、また放電痕により表面粗さが大きくなることにより工作物の機械的強度が低下する。放電加工は材料の硬度に関わらず加工が可能なので、超硬合金のような高硬度材料に多く用いられるが、超硬合金は脆性材料なのでとくにクラックが生じやすく、強度の低下が問題となる。そこで、放電加工条件が超硬合金工作物の強度に及ぼす影響について研究が行われてきている^{1),2)}。

ところで、放電加工は微細加工にも用いられ、それによる超硬合金極小径工具の製作なども報告されている³⁾。しかし、このような加工を行う微細加工領域での放電加工条件が工作物の機械的強度に及ぼす影響については詳しく調べられていない。そこで本研究では、放電加工により超硬合金微細軸を作成し、その曲げ強度を求めることで加工条件が及ぼす影響を調べることにした。そして、その結果を利用して長工具寿命の極小径切削工具の製作を試みた。

2. 超硬合金微細軸の曲げ強度試験

一般に材料の強度試験にはJIS規格などで定められている試験方法が用いられ、従来の研究ではそれらで規定された形状および寸法の試験片の表面に放電加工処理を施して試験を行っている^{1),2)}。しかし、微細加工の条件でそのような試験片を作成するのは困難である。したがって、本研究では以下の手順により微細軸を作成し、それらを試験片として曲げ強度を調べた。

2.1. 微細軸の作成

放電加工による超硬合金微細軸の作成にはRC放電回路を用いたワイヤ放電研削 (WEDG)⁴⁾を使用した。RC放電回路は放電パルス幅および放電エネルギーを微小にできるので、主に微細加工に用いられている。WEDGはワイヤ放電加工 (WEDM) と同様に金属ワイヤを工具電極に用いるが、WEDMと異なり、ワイヤ電極を加工点でガイドにより支持する。これによりワイヤ振動が抑制されて加工精度が向上し、直径数 μ mまでの微細軸の製作が容易に行える。加工機には超微細放電加工機 (パナソニック製、MG-ED72) を使用した。微細軸の素材には粒径0.6 μ mの超硬合金 (株)アライドマテリアル製、FM10K)を使用した。旧JIS規格ではZ20に相当する。

微細軸の作成は、まず素材を電源電圧100V、静電容量3300pFの条件で直径25 μ m程度にまで荒加工する。そして、

半径方向切込み8 μ m、電源電圧100V、静電容量を回路の浮遊容量のみとして中仕上げ加工を行う。最後に、電源電圧100-40V、静電容量を回路の浮遊容量のみとし、半径方向切込み2 μ mで仕上げ加工を行った。これにより、直径5 μ mの微細軸を作成した。

2.2. 曲げ強度試験方法

微細軸の曲げ強度試験方法を図1に示す。試験装置には微細超音波加工機 (株)クリエイティブテクノロジー製、ASWU-1)を利用した。微細軸を鉛直方向から15°傾けて装置に取付け、鉛直下方に送り、ガラス板に押付ける。このときの押付け荷重により微細軸は曲げ変形を生じ、じきに折損に至る。Z軸はステッピングモータにより0.05 μ m単位で送られる。送り速度は0.05 μ m/sに設定した。

また、ガラス板表面の摩擦力が大きいと微細軸の曲げ変形が拘束されるので、ガラス板を超音波振動子端面に取付け超音波加振を行い、表面の摩擦係数の低減を試みた。超音波振動の周波数は40kHz、振幅は0.8 μ mに設定した。超音波振動子は電子天秤上に設置されており、これにより折損時の押付け荷重を測定して曲げ強度を評価する。

2.3. 曲げ強度試験結果および考察

電源電圧100, 80, 60, 40Vで仕上げられた長さ33 μ mの微細軸を各4本作成し、それらについて曲げ強度試験を行った。電源電圧と曲げ強度との関係を図2に示す。曲げ強度は、40Vの場合の平均強度を1として正規化して表している。100Vから60Vまでは、電源電圧を低下させることにより平均曲げ強度が増加していくことがわかる。これは電源電圧の低下により放電エネルギーが減少したため、表面粗さが向上し、また生じた表面欠陥の大きさも小さくなったからと考えられ、従来の研究で得られた結果と同じ傾向になっている。

しかし、電源電圧を40Vまで低下させると、平均曲げ強度が逆に低減するという結果になった。この原因としては、RC回路を用いた放電加工においては、同じ切込みでも電源電圧が変化すると実際の除去量が異なることが考えられる。電源電圧が低い場合は極間距離が短く

Fig.1 Bending strength test

Fig.2 Relationship between bending strength of micropins and open-circuit voltage for finish machining

なので、同じ設定切込み量でも電源電圧が高い場合に比較して除去量が小さくなる。これは軸成形においては加工後の直径減少量が小さくなることを意味している。直径減少量が少ないと、荒加工や中仕上げ加工において生じた表面欠陥が除去しきれない可能性がある。そこで、仕上げ加工時の軸直径減少量を測定した。

図3は、異なる電源電圧で微細軸の仕上げ加工を行った場合、中仕上げ加工後の直径と仕上げ加工後の直径との差を示している。長さ13 μm の微細軸を各10本作成して測定した。この結果より、設定切込み量が同じであるにも関わらず、電源電圧が100Vの場合と40Vの場合とでは直径減少量に1 μm 近い差があることがわかる。電源電圧100V、静電容量1000pFの条件で超硬合金 (P20) に放電加工を行った場合、マイクロクラックは10 μm の深さに達するという報告例があり⁵⁾、超硬合金の組成や粒径が異なるので一概に比較はできないが、本実験で作成した微細軸にも荒加工により同程度の表面欠陥が生じている可能性がある。低電源電圧で仕上げ加工を行うと、直径減少量が小さいためにそれらを除去しきれず、その結果曲げ強度の低下につながったと考えられる。

3. 極小径切削工具の寿命評価

図2で得られた結果をもとに、長寿命の超硬合金極小径切削工具の製作を試みた。ここでは直径10 μm の半月形工具を製作した。製作は微細軸の作成と同様にWEDGにより行い、工具素材も同じものを使用した。素材をまず電源電圧100V、静電容量3300pFの条件で直径35 μm 程度にまで荒加工し、次に電源電圧が100Vまたは80V、静電容量が浮遊容量のみの条件で仕上げ加工を行い直径10 μm の丸棒に成形した。そして仕上げ加工と同条件で半月断面に成形し、また刃先の刃物角を調整した。図4に、仕上げ加工時の電源電圧を80Vに設定して製作した工具を示す。

製作された工具の寿命評価はドリル加工により行った。各電源電圧でそれぞれ4本の工具を製作し、それらを用いて回転数50s⁻¹、穴あけ深さ7 μm 、送り速度1 $\mu\text{m/s}$ の条件で黄銅に対して工具が折損するか250穴加工するまで穴あけを行った。図5にその結果を示す。仕上げ加工時の電源電圧が100Vの場合は、250穴に達した工具は1本のみであった。一方、80Vの場合ではで3本の工具が250穴まで折損しなかった。仕上げ加工時の電源電圧を低下させたことにより工具の機械的強度が向上し、その結果工具寿命が延長したものと考えられる。また、数穴以下で折損した工具が1本ずつみられたが、これは工具強度が初期の切削抵抗よりも低かったためと思われる。

4. まとめ

超硬合金の放電加工において、加工条件が工作物の機械的強度に及ぼす影響を微細加工の領域で調べた。直径5 μm

Fig.3 Relationship between diameter difference of micropins and open-circuit voltage for finish machining

Fig.4 Fabricated cemented tungsten carbide 10- μm -diameter cutting tool

Fig.5 Relationship between tool life of fabricated cutting tools and open-circuit voltage for finish machining

の微細軸を製作してその曲げ強度を測定したところ、仕上げ加工における放電エネルギーが小さくなると強度が向上する傾向がみられたが、放電エネルギーをさらに小さくすると逆に低下した。これらの結果を放電加工による極小径切削工具の製作に応用し、長寿命の工具の製作に成功した。

参考文献

- 1) 筒井忠夫, 田村武夫: 放電加工面の機械的性質に及ぼす影響 — 超硬合金の表面欠陥と抗折力について —, 電気加工学会誌, Vol.19, No.38 (1986) 33-42
- 2) Yan-Cherng Lin, Lih-Ren Hwang, Chao-Hsu Cheng, Pao-Lin Su: Effects of electrical discharge energy on machining performance and bending strength of cemented tungsten carbides, Journal of Material Processing Technology, No.206 (2008) 491-499
- 3) 江頭快: 放電加工による極小径切削工具の製作, 日本機械学会誌, Vol.113, No.1097 (2010) 280
- 4) 増沢隆久, 藤野正俊: ワイヤ放電研削による細軸加工とその応用, 生産研究, Vol.37, No.11 (1985) 29-34
- 5) 八高隆雄, 長谷川正, 竹山彦彦: フライスによる断続切削における超硬工具の初期欠損開始位置について, 精密工学会誌, Vol.52, No.8 (1986) 1376-1382