

# 와이어전극의 도금재료가 W-EDM 가공성에 미치는 영향 The Coating Materials of Electrode Materials on Machinability of W-EDM

김 창 호, 허 관 도(동의대 기계산업시스템공학부)  
Chang-Ho Kim and Kwan-Do Hur(Dong-Eui University)

## ABSTRACT

The characteristics of wire electrical discharge machining (WEDM) are governed by many factors such as the power supply type, operating condition and electrode material. This work deals with the effect of wire electrode materials on the machining characteristics such as, metal removal rate, surface characteristics and surface roughness during WEDM. A wire's thermal physical properties are melting point, electrical conductivity and vapor pressure. One of the desired qualities of wire is a low melting point and high vapor pressure to help expel the contaminants from the gap. They are determined by the mix of alloying elements (in the case of plain brass and coated wire) or the base core material(i.e. molybdenum). Experiments have been conducted regarding the choice of suitable wire electrode materials and influence of the properties of these materials on the machinability and surface characteristics in WEDM, the experimental results are presented and discussed from their metallurgical aspect. And the coating effect of various alloying elements(Au, Ag, Cu, Zn, Cr, Mn, etc.) to the Cu or 65-35 brass core on them was reviewed also. The removal rate of some coated wires are higher than that of 65-35 brass electrode wire because the wire is difficult to break due to the wire cooling effect of Zn evaporation latent heat and the Zn oxide on the surface is effective in preventing short circuit. The removal rate increases with increasing Zn content from 35, 40 and Zn coated wire.

**Key Words** : wire electrode(와이어전극), electrical conductivity(전기전도율), metal removal rate(방전가공 속도), wire electrical discharge machining(W-EDM),

## 1. 서 론

방전가공은 Fig.1과 같이 방전액 속의 음극(주로 전극)과 양극(공작물)사이에서 발생하는 방전현상에 의한 발생한 초고온의 열집중에 의한 용융과 기화(evaporation)에해 공작물을 비접촉 절삭하는 메커니즘이다. 총에너지 중 일부는 전극갭 사이에 공급되어 전극의 마모를 초래하는데 전극과 공작물 및 전원장치를 적절하게 선정하면 전극의 마모를 1%까지 줄일 수 있다.

W-EDM은 전극인 와이어( $\phi 0.03\sim 0.3\text{mm}$ )에 장력을 준 상태에서 와이어를 공급하면 공작물과 전극사이에 발생하는 방전에너지로 2차원의 윤곽형상을 가공하는 것이다. 와이어방전가공은 정삭가공 여유량을 감안하여 황삭가공(main cut)을 한 후 옵션량을 변화시켜가면서 요구정도에 따라 2~6회의 정삭가공(second cut)을 통하여 최종치수까지 가공하

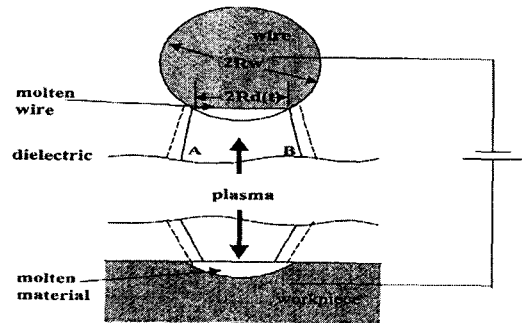


Fig.1 Physical Model of WEDM

는 방식이다.<sup>(1)</sup>

W-EDM특성은 전원형태, 작업조건, 와이어소재와 같은 많은 요소들에 의해 좌우된다고 알려져 있다.

와이어방전의 성능은 공구인 와이어의 재질이 와이어방전가공기의 전기조건들과 잘 결합되었을 때 그 효율이 극대화될 수 있다.<sup>(2)</sup>

때 그 효율이 극대화될 수 있다.<sup>(2)</sup>

## 2. W-EDM 가공용 전극(wire electrode)

일반적으로 WEDM의 가공성 즉 절삭성과 마모는 와이어 전극재의 기계적, 물리적 성질 및 기하학적인 성질들에 의해 좌우되며 표면정도 및 공차 제어(clearance control)는 전극의 품질과 상당한 관련이 있다. 왜냐하면 전류가 잘 흐를 수 있는 전기전도율과 단선을 피할 수 있는 충분한 인장강도 등을 갖고 있어야 하기 때문이다. 용융점과 기화압력이 낮으면 이온화시간(ionization time)이 짧게 되어 방전이 효율적으로 진행되므로 맞은 용융점과 기화압력을 가진 소재의 와이어가 바람직하다.

와이어의 재료는 초기에는 방전가공의 경험에 기초하여 전기전도율이 높고(100 IACS: international annealed copper standard : 순동의 전기전도율을 100%로 하는 전기전도율) 연신율이 우수한 동선이었으나 순동선의 경우 3000℃ 이상의 전기열에 의해 급속히 마모되어 인장력이 다소 약하여 작은 곡률반경을 가공할 때 단선이 자주 발생하는 등 가공불안정을 초래하였다. 70년대 초 인장강도를 보강하기 위하여 37%의 아연을 첨가시켜 개발된 황동선(Cu63%, Zn37%)은 비교적 우수한 전도율(29 IACS)로서 동의 3배 이상되는 기계적성질 및 인장강도를 갖고있을 뿐 아니라 만족할 만한 표면조도를 얻을 수 있게 되었다. 또 황동와이어에 2%의 알루미늄을 첨가시킴으로 높은 인장강도를 갖게 되었으며 작은 반경의 가공이 가능해졌을 뿐 아니라 황동와이어로 고속 WEDM가공할 때 공작물의 측면에 간혹 부착하는 황금도금층을 방지할 수 있게 되었다.

또 동선이나 황동선의 표면에 아연, 산화아연(ZnO) 혹은 황동으로 5~30 $\mu$ m 도금된 와이어가 개발되어 가공속도와 정밀도를 높일 수 있게 되었으며 인발시 표면에 생기는 흠(scratch)을 보완하는 등 황동와이어의 단점을 보완하게 되었다. 이밖에 세혈(細穴)이나 미세한 폭의 형상가공에 사용되는 것으로 인장강도가 뛰어난 텅스텐 와이어나 물리

브덴 와이어 등이 있으나 매우 고가이므로 일반적으로 잘 사용되지 않는다. 최근에는 이러한 도금층에 기공(氣孔)이 형성된 다공성(多孔性)구조를 가진 와이어의 개발로 방전시 발생한 가공분(加工粉:debris)을 포집하는 공간이 세정하는 능력이 뛰어난 것은 물론 냉각효과가 증가하였다.<sup>(3)-(6)</sup>

J. Prohaszka 등<sup>(7)</sup>은 와이어의 재질에 따라 기화온도와 용융점이 전극소모 및 WEDM의 가공속도에 미치는 효과를 실험을 통하여 제시하였으며 H.Sho 등<sup>(8)</sup>은 WEDM가공시 65/35 brass 소재에 0.2% weight의 Mn, Cr, Si 등의 요소를 첨가하여 만든 와이어로 실험하였다. 또, 황동와이어의 표층(表層)에 Zn도금두께를 다르게 도금한 와이어로 실험하였을 때, 표층(表層)의 Zn함량이 증가할수록 가공속도가 증가하였다. S. Banerjee 등<sup>(9)</sup>은 WEDM공정의 단발방전시 와이어의 순간적인 온도분포와 분화구형성에 대해 3차원 유한 차등모델을 이용하여 와이어에 걸리는 열을 방전주(discharge channel)가 전극과 접촉하는 주위의 열원을 경계조건으로 시뮬레이션 하였다.

본 연구는 초경합금 및 금형강을 와이어방전가공할 때, 와이어 전극소재의 종류 및 아연(Zn)의 함량, 도금재료가 가공속도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## 3. 실험방법 및 장치

### 3.1 실험기계 및 시편

본 실험에 사용된 와이어 방전가공기는 스위스 Charmilles사의 Robofil 290기종이며 와이어 이송속도는 60 mm/sec, 와이어 장력은 900gf로 고정하였다. 실험용시편은 코발트함량이 12%인 초경합금과 열처리된 금형강 SKD-11종(각 시편의 폭, 두께 및 길이가 5x10x100mm이며 연마함.) 와이어 전극은 직경 0.25mm의 아연도금된 황동와이어 CuZn35 2종류 및 Zn성분이 각각 35%, 40%인 황동와이어 2종류 사용하였다. 방전액은 전기전도율이 15  $\mu$ S/cm인 탈이온화수를 사용하였다. 또 도금재료가 가공속도에 미치는 영향을 간접적으로 파악하기 위하여  $\phi$  1.0mm의 동 파이프전극에 Sn, Ag, Zn 등의 금속을 각각 도금한 뒤 세혈전용 방전가공기인 ED-

Drilling기 (Model: SD- 1M, 한국KTC사)를 이용하여  
 ◦ 금형강(SKD-11종)에 구멍을 가공하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4. 1. 방전 가공속도

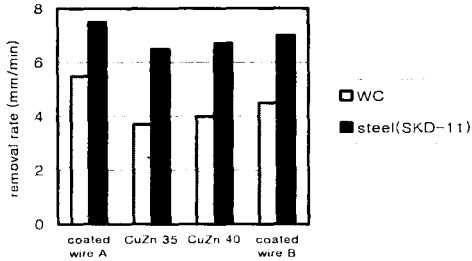


Fig. 2 Electrode material-Removal rate

Fig. 2는 전극의 종류에 따라 황삭 방전가공하였을 때의 방전가공속도를 측정한 결과로서 CuZn35, CuZn40 및 아연도금된 와이어의 순으로 가공속도가 증가되었다.

금 혹은 황동의 심선(core)에 20~30um두께의 아연(Zn) 혹은 산화아연(ZnO)도금을 입힌다는 것이 와이어 형태가 비도금된 와이어와 비교하였을 때 훨씬 나은 열원(heat sink)이라는 특징이 있다. 실제로 아연(Zn) 혹은 산화아연(ZnO) 도금은 심선인 구리나 황동의 용점보다 용점이 낮기 때문에 전류가 흐르면 펄스에너지의 일부가 와이어의 도금을 파열시키고 결국에는 기화시켜 버린다. 이것은 와이어의 열원효과(heat sink effect)와 심선 재료를 냉각시키는 효과를 가져와 와이어내부의 온도를 감소시키므로 동일한 직경의 와이어에 대해 가공에 사용할 수 있는 힘이 더 집중할 수 있게 된다. 그 결과 가공속도가 빨라진다. 그리고 도금층의 기화에 의해 와이어 갭(gap)의 치수가 증가하여 플래싱과 가공분의 제거가 쉬워진다.

Fig.3은 Sn, Ag, Zn로 도금한  $\phi 1.0\text{mm}$ 의 동 파이프전극으로 금형강을 세척 방전가공하였을 때의 결과를 비교한 것으로 가공속도는 Zn, Ag, 무도금, Sn의 순이었다.

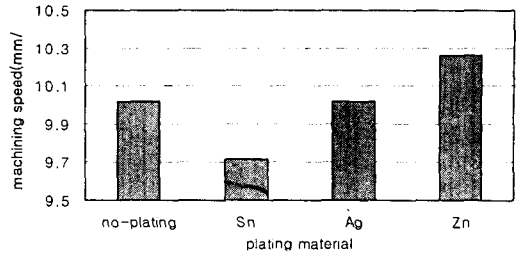
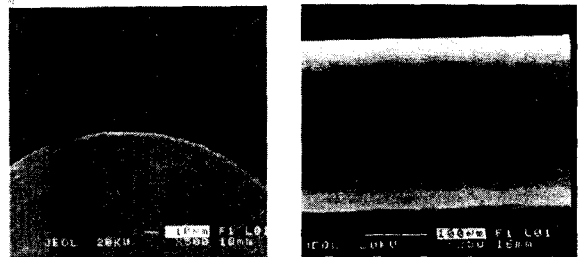


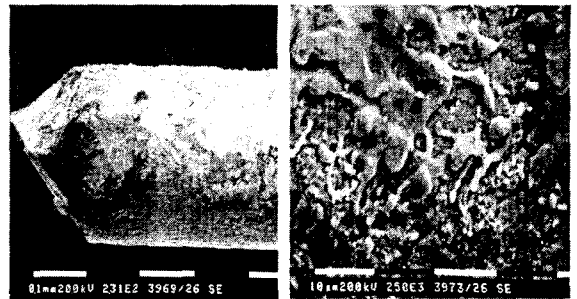
Fig. 3 The Effect of Plating Material of Wire Electrode on Machining Speed of Tool Steel



(a) Cross Section

(b) Lateral Surface

Fig.4 New Wire electrode in Wire - EDM



(a) X 230

(d) Mag. of (a) (X 2,500)

Fig. 5 Used Electrode Wire

##### 4. 2. 와이어전극의 표면특성

Fig.4는 인발한 상태의 Zn 도금된 와이어 전극이며 Fig. 5는 방전가공 후의 전극 측면에 대한 SEM 사진이다. 방전중의 높은 열에 의해 전극표면 중 표면의 일부가 용융 및 용출 방전액 속으로 비산하거나 일부는 Fig. 5와 같이 전극표면에 재응고 된다.

강을 WEDM하였을 때 사용한 전극의 표면을 EDS (Energy Dispersive Spectrometer)로 분석한

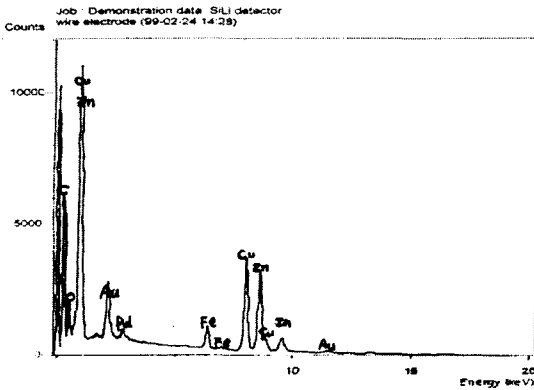


Fig. 6 X-Ray Diffraction Pattern Obtained from Used Wire Electrode

결과 Fig. 6과 같이 Fe의 성분이 6.2% 검출되었는데 이것은 전극과 공작물 사이에 간격이 불과 수십  $\mu\text{m}$ 내에서 발생한 방전에 의해 용융된 Fe의 일부가 비산하여 와이어전극에 부착된 것으로 사료된다. 그러므로 양극간의 공간에는 비산하는 두극의 재료들은 방전액의 흐름을 따라 유동하다가 서로 다른 극의 표면에 용착하기도 한다. 와이어의 표면에 발생한 3000 $^{\circ}\text{C}$ 의 열에 의해 기계적인 성질이 훨씬 떨어질 뿐 아니라 표면이 거칠게 되므로 방전에 사용된 와이어는 재사용이 불가능하다. 또 방전된 공작물의 표면에도 와이어 진행방향 쪽으로 많은 양의 Cu가 부착되어 있었다. 이러한 부착물은 공작물의 경도와 강도를 저하시키므로 lapping이나 연마에 의해 제거해야 한다.(11)

## 5. 결론

- 1) 65/35 황동와이어 < 6/4 황동와이어 < Zn 코팅 와이어 순으로 방전속도가 증가하였다. Zn함량이 증가할수록 가공속도가 증가하는 이유는 Zn의 기화잠열(氣化 潛熱)의 냉각효과 및 표면상의 Zn 산화물이 단락을 방지하기 때문으로 보인다.
- 2) 와이어전극의 표면에 Fe가, 공작물의 표면에는 Cu가 각각 검출되었는데 방전중의 높은 열에 의해 용융된 두 극의 금속의 일부가 비산되어 응고된 것으로 보인다. 특히 공작물에 부착된 재응고층은 공작물의 경도와 강도를 저하시키므로

lapping이나 연마에 의해 제거해야 한다.

## References

1. 김창호, 방전가공, 기전연구소, 1992.
2. D.F. Dauw and L. Albert, "About the Evolution of Wire Tool Performance in Wire EDM", Annals of the CIRP Vol.41, No.1, pp. 221-225, 1992
3. H. Sho, T. Orino and M. Fukui, "The Effect of Electrode Materials on the Characteristics of Machinability of Wire Electrode-Discharge Machines", Proc. of ISEM-9, pp. 219-222, 1989.
4. W. Konig, D.F. Dauw, G. Levy and U. Pnaten, "EDM: Future Steps towards the Machining of Ceramics", Annals of the CIRP, Vol. 37, No. 3, pp. 625-641, 1988.
5. M. Jennes, W.Dekeyser and R. Snoeys, "Comparison of Various Approaches to model the thermal load on the EDM Wire Electrode", Annals of the CIRP, Vol. 33 No. 1, pp. 93-98, 1984.
6. 김창호, 허관도, 최재찬, 박명점, "와이어 EDM 전극재료와 방전가공특성", 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 1993-1996, 1999.
7. J. Prohaszka, A.G. Mamalis and N.M. Vaxevanidis, "The Effect of Electrode Materials on the Machinability in WEDM", J. of Materials Processing Technology, Vol. 69, pp. 233-237, 1997.
8. P.M. Lonardo, and A.A. Bruzzone, "Effect of Flushing Electrode Materials on Die Sinking EDM", Annals of the CIRP, Vol. 48, No.1, pp. 123-126, 1999.
9. S. Banerjee, B.V.S.S.S. Prasad and P.K. Mishra, "Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Conduction for Predicting Wire Erosion in the WEDM Process", J. of Materials Processing Technology, Vol. 65, pp. 134-142, 1997.