

## 와이어 종류에 따른 방전가공 부품의 기계적 특성

김중업\*(창원기능대학), 정순성(김해건설공고), 왕덕현, 김원일, 이윤경(경남대학교)

### Mechanical Characteristics of Electrical Discharge Machined Product due to the Different Wire Electrode

J. U. Kim(Changwon Poly. Col.), S.S.Jeong(Kimhae H. S.), D.H.Wang, W.I.Kim, Y.K.Lee(Kyungnam Univ.)

#### ABSTRACT

Electrical discharge machining is the method of using thermal energy by electrical discharge. Generally, if the material of workpiece has conductivity even though it is very hard material and complicated shape which are difficult to cut such as quenching steel, cemented carbide, diamond and conductive ceramics, the EDM is favorable one of possible machining processes. But, the process is necessarily required of finish cut and heat treatment because of slow cutting speed, no mirror surface, brittleness and crack due to the residual stress for manufactured goods.

**Key Words** : Electrical discharge machining(방전가공), Wire electrode (와이어 전극선), SEM(주사전자현미경), Surface roughness(표면거칠기), Hardness(경도), Bending strength(굽힘강도)

#### 1. 서 론

공작기계 및 기계부품의 재료로 내마멸성 및 강도 등의 우수한 기계적 성질에 상응하는 담금질강, 초경합금뿐만 아니라 공업용 다이아몬드 및 전도성 세라믹스와 같은 매우 경한 재료를 사용하게 되었으나, 기존의 가공방식의 어려운 점이 드러나게 되어 특수가공방법중의 하나인 방전가공 기술의 필요하며 또한 전문화된 연구가 요구된다.

방전가공 기술은 금형가공 분야에서 급속히 보급되었으며, 최근 와이어 방전가공 장치의 전원이나 테이블 이송기구 및 무인 운전 등 하드웨어 개발에 따라 와이어 방전가공의 운전비 저하, 가공품질의 향상이 진행되어 왔다.<sup>1,2)</sup> 이러한 방전가공기 하드웨어와 동시에 방전가공에 필수적인 전극선에 대한 요구 또한 다양화되고 고성능화 되어가고 있다. 그러므로 보다 우수한 특성을 갖는 전극선이 요구되고 있으며, 이러한 경향은 향후 더욱 높아질 것으로 생각된다. 최근 와이어 종류가 다양하게 개

발됨에 따라 가공성 향상과 더불어, 종래의 동 및 황동선 사용으로 인한 연질화의 경향으로부터 탈피하고 있으며 와이어의 소재의 코팅효과로 기계적 성질의 향상을 시도하게 되었다.<sup>3,4)</sup>

본 연구에서는 금형용 합금공구강(STD-11)에 여러 종류의 와이어 전극선들(Brass, Zinc coated-Brass, Brass coated-Cu, Al addition-Brass)을 사용하여 방전전류와 가공차수의 가공조건 변화에 따라 와이어 방전가공을 수행하여 기계적 특성값들을 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 와이어 방전가공 후 경도, 강도 등의 기계적 성질 값들과 가공면의 조직과 성분 분석, 표면거칠기 등의 특성을 파악할 수 있어 가공 후 기계부품으로 사용 가능성을 제시하고자 한다.

#### 2. 실험장치 및 방법

##### 2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 와이어컷 방전가공기는

서울정기(주)의 SP-100A 기종으로서 테이블 크기는 484 × 369mm, 테이블 이송 속도 1300mm/min, 와이어 전극 이송 속도 15m/min, 사용 와이어 전극 지름 0.05~0.33mm, 가공 전원은 트랜지스터 펄스 방전 방식으로 최대 방전 인가전류( $I_p$ )는 7.3~200A 사이의 18 단계로 되어 있으며, 평균 가공 전압 목표치( $V_g$ )는 1~150V로서 Fig.1에 나타내었다.



Fig. 1 Overall view of wire cut EDM(SP-100A)

가공면거칠기 측정은 Mitutoyo사(Japan)의 Surf-test-501을, 경도 측정은 Matszawa사(Japan)의 MXT70 비커스경도기를, 굽힘강도와 항복강도는 Instron사(USA)의 만능시험기 4485를, 가공면의 미세 조직과 코팅 성분 분석은 Akashi사(Japan)의 Scanning electron microscope SX40A를 사용하였다.

## 2.2 실험재료

본 실험에서 사용된 피삭재는 냉간금형용 합금 공구강(STD-11)을 사용하였고 와이어 전극재료는 Brass, Zinc coated-Brass, Brass coated-Cu, Al addition- Brass의 4종류를 사용하였다.

## 2.3 실험방법

본 실험에서 와이어 공급속도는 70mm/sec, 와이어 장력은 480g, 가공액은 물로서 유량 2 l/min의 상하 분사 공급, 전기전도도는 45ms/cm, 수온은 28 ± 1°, 와이어 이송속도는 기계에 설정된 최적 이송율, 휴지 또는 방전시간( $T_{on}$ )을 일정하게 유지하며 방전극간 전압( $V_g$ )은 50~80V 범위로 설정하여 자동제어 방식으로 가공하였고, 종류별 최대 방전 인가전류( $I_p$ )를 3단계로 변화시켜 1회, 2회, 3회, 4회의 마무리가공을 수행하였다. 별도로 표면거칠기, 깊이별 경도, 표면 미세조직 및 성분 분석을 위하여 차수별 최적 가공조건으로 가공하였다. 시험편의 가공은 STD-11을 유효폭 120mm, 두께 8mm의 띠형으로 절삭 가공하여, 두께 방향으로 4mm 등분 와이어 가공한 후 Cross방향 직선형으로 유효

거리 3mm를 Finish cut 1, 2, 3, 4회 조건별 본 가공을 하고 유효 시편 사이 각각 2mm를 잘라내어 조건 상호간의 간섭을 배제하였고, 최종 길이방향으로 3등분하여 가로× 세로× 길이의 치수를 3× 4× 40mm인 동일조건 시편 6개를 가공한 후 측정은 주사 전자현미경으로 표면 코팅부 및 열영향부 미세 조직과 코팅 성분 분포상태를 분석하였고, 표면 거칠기 측정으로 가공성 및 가공면 정도를 관찰하였고, 비커스 경도 시험기로 시편의 표면 및 단면부를 표면으로부터 5μm 깊이별 4개소를 측정하여 경도 변화를 분석하였고, 가공면에 대한 수직방향으로 시편당 5회 굽힘시험을 통하여 굽힘강도와 항복강도 및 취성의 정도를 분석함과 아울러 내마멸성을 예측하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 성분분석 및 조직 특성

Fig.2는 가공차수별 최적 조건으로 각각 다른 성분의 와이어들로 1차, 2차, 3차, 4차 가공 후 표면을 주사전자현미경으로 찍은 사진들이다. 와이어 성분에 관계없이 방전인가전류가 낮을수록, 가공차수가 증가할수록 표면 거칠기는 방전흔의 크기, 피가공분 부착물, 용융 응고층의 대소 및 전가공의 가공 요철부 제거에 의하여 뚜렷하게 양호해 진 것으로 나타났다.

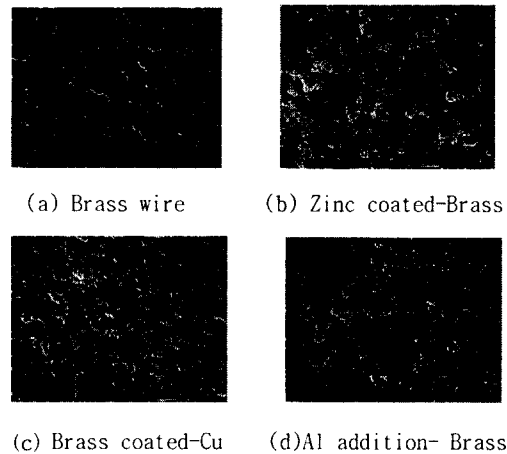


Fig. 2 SEM photographs of machined surface for different wire electrode

### 3.2 표면거칠기 특성

일반적으로 표면거칠기는 트랜지스터 펄스방식의 경우 방전 인가전류( $I_p$ )와 펄스폭( $\tau_p$ )에 의하여 결정되며 가공속도와 직접적으로 연관되어 상반되게 나타난다. 가공속도는 방전에너지에 밀접한

관계가 있으며, 방전극간전압, 방전시간, 전류 등에 의하여 직·간접적으로 영향을 주며, 그 외에도 전극선의 재질별 도전율 차이, 와이어의 용점, 와이어의 강도로 인한 와이어 진동, 성분 차이로 인한 와이어의 가공 단면 부삭성 차이, 가스 방출에 의한 피가공물 제거 속도 및 정도의 차이 등, 여러 가지의 방전 조건에 의한 미세한 작용으로 인한 종합 개념의 방전 효율과 상관이 있는 것으로 알려져 있다. 와이어 성분별 및 가공차수별 표면거칠기를 Fig. 3에 나타내었다.

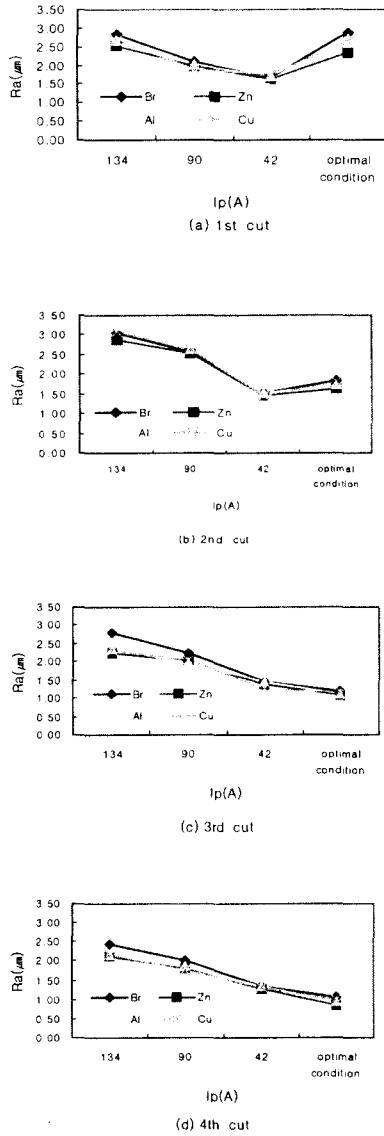


Fig. 3 Centerline average surface roughness values for different number of cut

### 3.3 경도 특성

Fig. 4에 나타낸 와이어 방전가공면의 경도는 일반적으로 인가전류( $I_p$ )값의 크기와 가공횟수에 따라 변화하고 있다.  $I_p$ 가 클수록 경도는 증가하였고, 가공횟수가 증가할수록 낮아졌으며 1차 가공의 경우는 비교적 높은 값을 나타냈고  $I_p$ 값에 따라 큰 폭으로 낮아졌으나, 2차, 3차, 4차 가공의 경우는 경도치가 낮은 값에서 적은 폭의 변화를 나타냈다. 이것은 방전 에너지에 따라 가공면의 열영향부에 유입된 열의 정도에 따라 열처리 효과로 인한 경화 정도가 다르기 때문이다.

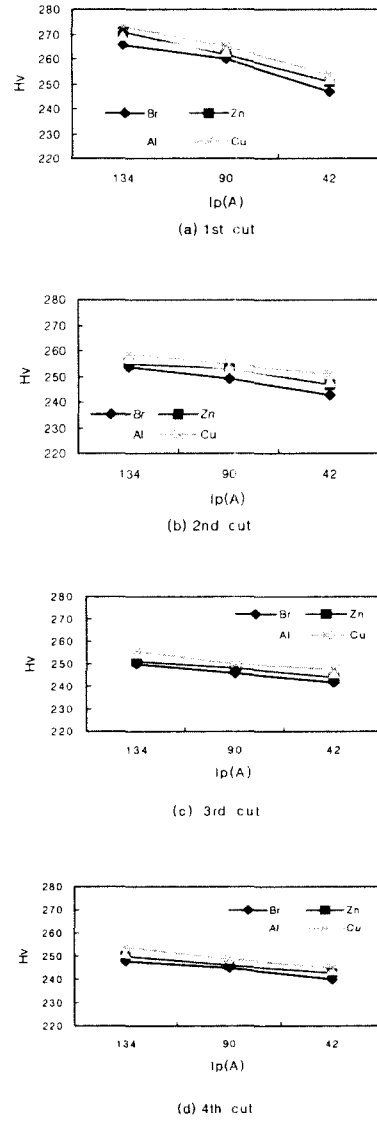


Fig. 4 Vickers hardness values for different number of cut

### 3.4 굽힘강도 특성

굽힘강도는 경도, 취성, 인성, 가공부의 미세균열 등 복합적인 요소들에 의하여 결정되며, 이 요소들은 재료의 열에 의한 변질과 가공시 용착된 미소함량의 와이어 성분 등에 의하여 변화 되는 것으로 알려져 있다. 경도는 방전에너지에 비례하여 변화되었음을 앞에서 확인하였고, 재료에 굽힘하중이 가해지면, 변형이 수반되면서 항복과 파괴에 이르게 되는데 Fig. 5에 나타낸 결과 경도의 증가와 더불어 초기 변형 저항치인 항복강도는 비교적 증가하였으나 굽힘강도는 저하되는 것으로 나타났으며, 이는 열변형층의 경화와 더불어 취성 또한 증가한 것으로 해석할 수 있다.

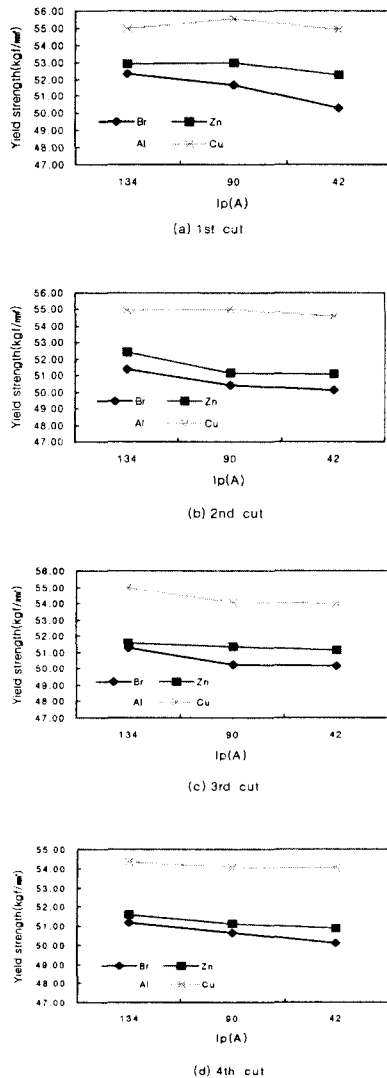


Fig. 5 Yield strength for different number of cut

### 4. 결론

본 연구에서는 와이어 종류별로 최대 방전인가 전류( $I_p$ )의 조건을 변화시키면서 1차, 2차, 3차, 4차로 각각 가공하여 피삭재의 표면 조직, 표면 형상, 경도, 굽힘강도 등의 기계적 특성에 미치는 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 피삭재의 조직은 방전 인가전류( $I_p$ )가 낮을수록, 가공차수가 증가될수록 방전흔의 요철 크기가 작고, 평탄면이 넓어지고 있으며, 와이어 성분의 코팅 정도는 1차가공에서 Zn성분이 Br과 Zn와이어에서, Cu성분이 Br과 Al와이어에서 높게 분포되었다.

2. 표면 거칠기에 가장 많은 영향을 준 조건은 방전 피크전류( $I_p$ )로서,  $I_p$ 를 낮출수록 가공차수를 많이 할수록 표면거칠기가 향상되었다.

3. 표면경도는  $I_p$ 가 클수록 높았고, 재가공할수록 낮아졌으며, 1차 가공의 경우는 비교적 높은 값으로  $I_p$ 값에 따라 큰 폭으로 감소하나 가공횟수가 증가할수록 감소폭은 상대적으로 미미했다. 깊이별 경도 변화는, 표층에서 가장 높은 경도치를 보였고, 깊이가 깊어질수록 낮아져 15~20 $\mu$ m에서 모재와 같은 경도를 보였다.

4. 경도의 증가와 더불어 초기 변형 저항치인 항복강도는 비교적 증가하였으며 굽힘강도는 저하되는 것으로 나타났으며, 이는 열변형층의 경화와 더불어 취성이 증가한 것으로 해석할 수 있다. 와이어별 굽힘강도의 분포는 Cu, Al와이어가 비슷하게 높고, Zn, Br와이어가 순차적으로 낮게 되었다.

### 참고문헌

- (1) Y. S. Liao, Y. Y. Chu and M. T. Yan, "Study of Wire Breaking Process and Monitoring of WEDM" Int. J. Mach. Manufact., Vol. 37, No. 4, pp. 555~567, 1997.
- (2) G. Spur and J. Schonbeck, "Anode Erosion in Wire-EDM-A Theoretical Model", Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 253~256. 1993.
- (3) S. Banerjee, B. V. Prasad and P. K. Mishra, "Analysis of three-dimensional transient heat conduction for predicting wire erosion in the wire electrical discharge machining process", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 65 pp. 134~142, 1997.
- (4) 김창호, "초경합금의 와이어방전가공 가공성 및 표면특성", 한국정밀공학회지, Vol. 16, No. 8, pp. 100~105, 1999