

고온 열처리가 와이어 컷 가공면에 미치는 영향

최계광¹, 이용신[#]

Effect of Heat Treatment on the Surface Machined by W-EDM

K-K Choi, Y-S Lee

(Received October 12, 2006)

Abstract

Experimental studies are carried out in order to investigate the effects of heat treatment on the surface machined by W-EDM. In this work, two ways of heat treatment after W-EDM are considered. As a comparison, the machined surface by a traditional method such as milling/grinding is also considered. Thereby, specimens are prepared by four different machining methods. Those are (1) milling and then grinding, (2) wire-cut electric discharge machining (W-EDM), and (3) low temperature heat treatment or (4) high temperature heat treatment after W-EDM. The resulting surface roughness are measured and the changes of surface microstructures are investigated using the scanning electron microscope (SEM) with energy dispersive X-ray spectrometer (EDS). In general, heat treatment after W-EDM result in smoother surface and better chemical composition at the machined surface. Especially, high temperature tempering could remove defects in the thermally affected zone, which cause an overall deterioration of the surface machined by W-EDM

Key Words : W-EDM, Heat Treatment, EDS, Surface Roughness

1. 서 론

최근 과학기술의 발달과 함께 여러 분야에서 난삭성 재료의 사용이 증가하고 있다. 이러한 난삭성 재료를 일반적인 절삭과 연삭 등으로 가공했을 경우에는 경제성이나 능률성 측면에서 원하는 결과를 얻기가 힘들다. 또한, 고정밀, 고능률 및 가공형상의 복잡화 및 미소화의 요구에 따라 기존의 기계적 가공법을 대체할 수 있는 새로운 가공법[1]이 개발되었다. 이 중 하나가 와이어 컷 방전가공 (Wire Electric Discharge Machining, W-EDM)이며 전기적 제거 가공의 한 분야이다. W-EDM은 금형 제작 기술을 발전시켜 다품종과 형태가 복잡한 금형 제작이나 납기단축 요구에 부응하여 왔으며 특히 CAD/CAM 시스템의 개발과

응용에 의해 무인화된 장치로 완전 자동 공정을 가능하게 하였다.

한편 절삭가공은 와이어 컷 방전가공이 적용되기 이전에 프레스 금형 제작에 주로 사용되던 가공방법으로, 금형제작기간이 와이어 컷 방전가공기를 이용할 때보다도 3~7배정도 시간이 요구되므로 요즈음과 같이 빠른 시간에 제작이 요구되는 상황에서는 적절치 않은 방법이다. W-EDM 가공의 단점으로는 절삭가공으로 제작된 것보다 표면이 약간 거칠고 수명이 짧은 점을 들 수 있다. W-EDM 가공면이 절삭가공으로 제작된 가공면보다 표면이 약간 거친 것은 자동차 부품, 가전 부품 등 일상의 공업제품을 생산하는 경우에 1차 와이어 컷 방전가공으로 가공된 면이 제품이 요구하는 표면정밀도를 만족시키기 때문에 문제가

1. 공주대학교 기계자동차공학부
교신저자 : 국민대학교 기계자동차공학부,
E-mail : ysllee@kookmin.ac.kr

되지 않는다. 따라서 와이어 컷 방전 가공에 의해 제작된 금형의 경우, 금형의 수명연장은 생산성을 향상시킬 수 있으므로 산업적 가치가 매우 크다 하겠다

일반적으로 W-EDM 가공 면에는 방전의 열적 작용에 의해 변질 층이 형성되며, 제품신뢰성을 손상시키는 요소가 되고 있다. 이들 변질 층의 발생은 주로 방전가공 조건이나 소재의 특성에 지배되는 것으로 알려져 있어 변질 층의 발생을 제어하는 조건 선정과 함께 발생된 변질 층을 제거하기 위한 방법들이 제시 되었다[2~4]. Huang 등[5]에 의한 다중 커트의 표면 특성분석, Luo[6]의 전극 선의 파손과 기계적인 강도분석, Lee[7]의 표면 크랙형성과 EDM 변수에 관한 연구, Narayanan[8]의 방전가공 후 공구 표면 손상 층 깊이 추정 방법 및 Rebelo[9]의 EDM 펄스에너지의 영향 등을 들 수 있다. 이외에도 가공속도의 영향에 관한 연구, 정밀도, 북 현상, 틈새 등과 같은 가공조건의 영향 등 많은 분야에 걸친 연구가 보고되었다.

그러나 와이어 컷 방전가공된 제품 표면의 열처리에 대해서는 연구가 거의 없다. 이에 본 연구에서는 금형강 STD 11을 와이어 컷 방전가공 한 후에 템퍼링 열처리가 가공면에 미치는 영향을 밀링 가공 면과 비교 조사하고, 과거의 연구[10]에 있어서 열변질층을 완전히 제거할 수 있는 고온 템퍼링을 제안한다. 궁극적으로는 와이어 컷 가공면의 열처리 전과 후의 미세조직을 상세히 비교하여 추후의 금형가공 기본 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 및 측정 장치

실험에서 사용한 와이어 컷 방전 가공기는 대우 중공업(주)의 ACE W 535이고, 와이어 전극은 직경 0.25mm 황동선 2종이다. 시편의 표면은 썬택(주)의 산업용 카메라로 100배 확대하여 조사하였다. 금형의 표면조직은 JEOL 사의 모델 JSM 5410 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 2000배로 확대하여 관찰하였고 운전 전압은 20kV로 하였다. 더불어 EDS로 가공면의 표면성분 변화를 정량분석 하였다.

2.2 시편제작

시편의 평면연삭은 대한기계 제작소의 평면연

삭기 DSG-800H를 사용하였으며 최대 주축 회전 속도는 1710RPM이다. 연삭 슷들은 제일연마공업(주)의 WA36H를 사용하였다. 시편의 크기는 8mm×8mm×10mm로 밀링가공하고 평면 연삭하여 제작하였다. 위와 같이 제작된 시편을 STD11의 열처리 조건에 따라서 650℃로 1시간, 850℃로 2시간, 1030℃로 2시간 30분간 켄칭을 하였다. 이후에 -160℃로 3시간씩 2회 심냉(sub-zero)처리를 하였다. 시편을 꺼내어 전기로에 넣고 510℃로 2시간, 490℃로 2시간 고온템퍼링을 하여 열처리를 완료 하였다. 열처리된 시편을 절삭가공(평면연삭), 와이어 컷 방전가공을 이용하여 다음과 같이 A, B, C, D의 네 가지 타입으로 제작하였다.

A 타입은 열처리된 시편의 높이 10mm를 8mm로 평면 연삭을 해서 제작 하였고,

B 타입은 열처리된 시편의 높이 10mm를 8mm로 와이어 컷 방전가공으로 제작 하였으며,

C 타입은 B 타입 시편을 200℃에서 저온 템퍼링을 2시간씩 2회 실시하여 제작 하였고,

D 타입은 B 타입 시편을 510℃에서 고온 템퍼링을 2시간씩 3회 실시하여 제작 하였다.

2.3 측정 방법

실험에 사용한 측정 장치는 영국 Taylor Hobson 사의 Talysurf Series 2를 이용하여 가공면의 표면형상을 측정된 값을 Table 1에 나타내었다. 측정방법은 traverse unit에 부착되어 있는 pick-up으로 가공된 시편의 정보를 읽어 들여 컴퓨터에서 표면형상을 보여준다. 시편의 측정은 축 방향과 이송방향 양끝 단을 각각 2mm씩 제외하고 이송방향으로 100μm간격으로 총 41단계로 축 방향을 측정하였다.

Table 1 Measurement conditions for surface roughness

Measurement mode	Value of condition
Cutoff length(mm)	0.25
Data length(mm)	4
Table step(μm)	100
Number of measurement	41
Filter type	Gaussian

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 표면 미세조직

Fig. 1의 A 타입 표면 부 사진에는 평면연삭기

로 연삭을 하면서 떨어져나간 부분이 많이 관찰되는데 이 부분은 가공 전 미세조직에 분포되어 있던 Cr 탄화물이 연삭을 하면서 떨어져 나가면서 생긴 부분으로 사료된다. A 타입의 단면 부에서도 알 수 있듯이 Cr 탄화물이 떨어져 나가면서 생긴 높이 5 μ m가 기계 가공할 때 탄화물 입자의 탈락에 의한 것임을 알 수 있었다.

Fig. 2의 B 타입 표면 부 사진에서 보이는 어두운 부분의 깊이는 20 μ m 이상 되고 와이어 컷 방전가공을 하면서 발생된 가공변질층부이다. 가공 변질층부는 세부적으로 재응고 층, 백 층, 상변환 층, 모재 등으로 세분할 수 있다. Fig. 2(a)의 가공변질층에서 다량의 크랙 발생이 관찰되는데 이는 와이어 컷 방전 가공할 때 소재의 급열과 급랭에 의해 발생하는 마르텐사이트 변태와 관련된 것으로 보인다. B 타입의 단면 부에서 보듯이 와이어 컷 방전 1차 가공에 의해 20 μ m 이상의 최대 거칠기를 보이고 있다. Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDS) 검사결과 Fe 는 81.11%, Cr 은 12.88%로 측정되었고 A 타입과 다른 점은 Cu 성분이 4.60% 검출되었다. 이것은 와이어 컷 방전가공을 하면서 공구인 구리선이 용융되면서 소재 표면에 불규칙적으로 용착된 결과로서 나타난 것이다.

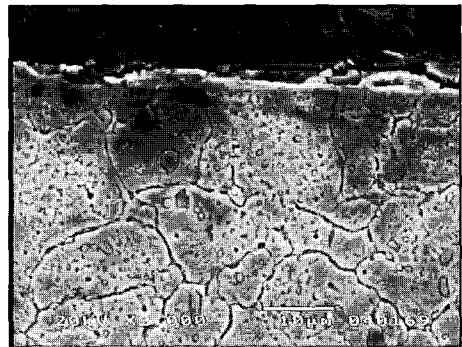
Fig. 3의 C 타입 표면 부 사진에서는 B 타입 표면 부 사진과 별 차이를 보이지 않고 있다. EDS 검사결과 Fe 는 79.82%, Cr 은 13.82%로 측정되었고 Cu 성분이 4.22% 검출되었다. C 타입의 단면 부 사진에서는 B 타입과 달리 표면의 급열 급랭된 조직을 저온 템퍼링을 함으로서 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화되었다. 바탕조직은 템퍼드 마르텐사이트 조직이고 흰 결정립은 오스테나이트에 고용되지 못한 탄화물이다.

Fig. 4의 D 타입 표면 부 사진에서는 B 타입 표면 부 사진과 별 차이를 보이지 않고 있다. EDS 검사결과 Fe는 84.04%, Cr은 14.15%로 측정되었고 Cu 성분이 1.81% 검출되었다. D 타입의 단면 부 사진에서도 B 타입과 달리 표면의 급열 급랭된 조직을 고온 템퍼링을 실시함으로써 템퍼드 미세 조직으로 안정화되었고 열변질층이 거의 해소되었다. 바탕조직은 템퍼드 마르텐사이트이고 흰 결정립은 석출한 2차 탄화물이며 굵은 결정립은 오스테나이트에 고용되지 못한 탄화물이다. r-Fe(잔류 오스테나이트)의 강도가 작아지고 α -Fe(마르텐사이트)의 강도가 증가하는 동시에 탄화물의 석출도 관찰되었다. 가공 변질층이 B 타입에 비하여 부드러운 형태

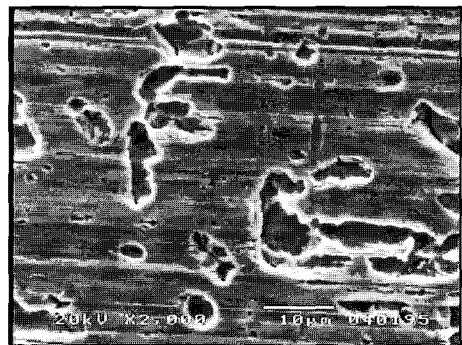
를 보이며 미세크랙이 관찰되는 횡수도 많이 감소되었음을 확인할 수 있었다.

각 타입별 Fe, Cr, Cu 성분의 함량을 조사하였다. A 타입이 B 타입보다 Cr 함량이 높게 관찰되었는데 이유는 다음과 같다. A 타입과 B 타입을 EDS 면 분석 시에 Fe, Cr, Cu의 3원소 구성이 100% 되는 조건하에서 측정하였다. 따라서 A 타입에는 Cu가 없기 때문에, 탄화물 자체의 Cr 함량은 변화가 없으나 상대적으로 Cr의 함량이 높게 관찰되었다.

B 타입의 경우, Cu 함량을 제외하고 Fe와 Cr로 구성되었다는 가정 하에 Cr 함량을 계산하면 A 타입과 거의 유사한 값이 얻어진다. B 타입의 성분분석에서 Cu가 측정된 결과로부터 와이어 컷 방전 가공할 때 황동 선의 Cu가 시편 표면에 부착되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 시편을 템퍼링 하는 경우 일부 부착된 Cu가 탈락하는 현상이 C, D 타입에 발생되어 결과적으로 템퍼링한 시편의 표면 거칠기도 다소 개선되었다고 사료된다.

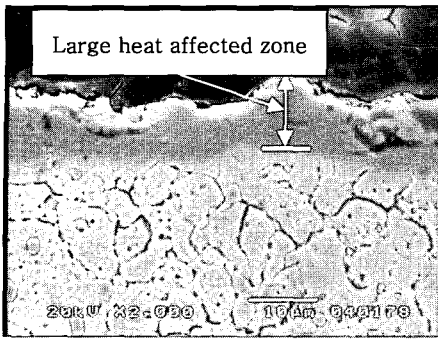


(a)

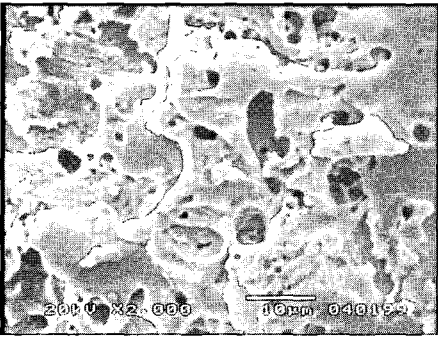


(b)

Fig. 1 Microstructure of machined surface of type A : (a) cross section (b) top view

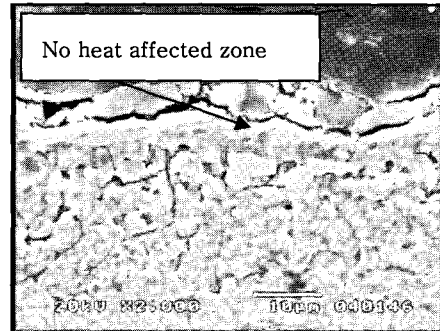


(a)

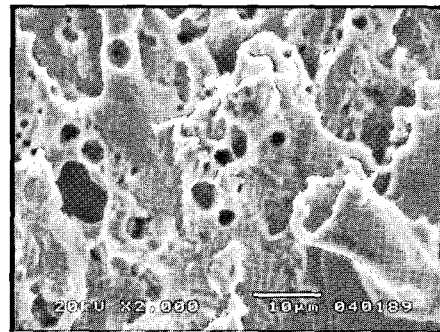


(b)

Fig. 2 Microstructure of machined surface of type B :
(a) cross section (b) top view

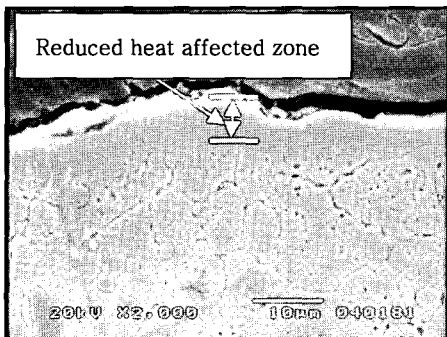


(a)

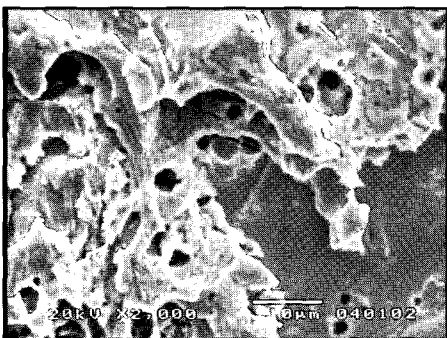


(b)

Fig. 4 Microstructure of machined surface of type D :
(a) cross section (b) top view



(a)



(b)

Fig. 3 Microstructure of machined surface of type C :
(a) cross section (b) top view

Table 2 Surface roughness

(Unit : μm)

Type	A type	B type	C type	D type
R_t	1	3.87	22.43	20.53
	2	3.30	21.22	20.98
	3	3.74	23.70	21.63
	Mean	3.64	22.45	21.05
R_p	1	1.76	11.06	9.85
	2	1.01	11.21	10.26
	3	1.32	12.98	11.30
	Mean	1.36	11.75	10.47

3.2 표면 거칠기

가공면 표면 분포를 표면 거칠기 측정기를 이용하여 측정한 값을 Table 2에 나타내었다. 표면 거칠기를 나타내는 R_t (maximum roughness depth)값과 R_p (leveling depth)값은 1차 와이어 컷 방전가공을 하게 되면 가공 중에 황동 선의 진동과 방전

참고 문헌

조건입력에 의해 시편의 표면 거칠기가 일정하지 않고 불규칙하게 형성된다. 이러한 영향까지 확인하기 위해서 R_a 값과 R_p 값을 선정하였다. R_a 값과 R_p 값 모두 A 타입이 가장 작은 값을 나타내었으며, 와이어 컷 방전 가공한 경우 저온, 고온 템퍼링을 실시한 C, D 타입이 와이어 컷 방전 가공만 실시한 B 타입보다 약간 작은 값을 나타내었다.

4. 결론

W-EDM 가공면에 열처리가 미치는 영향을 조사하기 위하여 네 가지의 표면가공법, 즉 절삭가공(A 타입), W-EDM(B 타입), W-EDM 후에 저온 열처리(C 타입)와 W-EDM 후에 고온 열처리(D 타입)에 의해 제작된 금형강 STD11 시편의 표면을 조사하여 다음의 결론을 얻었다.

전자주사현미경 사진의 고찰로부터 A타입의 표면 부와 단면 부는 B, C, D타입과는 확연한 차이를 보였다. A타입에는 없었던 Cu성분이 와이어 공구로부터 용착이 되어 B, C, D타입에서는 검출이 되었고 B타입보다는 C, D타입의 표면 부에서 Cu 성분이 줄어들고 상대적으로 Cr성분이 증가하였음을 확인할 수 있었다. B 타입 표면은 와이어 컷 방전가공으로 급열 급랭 된 조직이지만 C타입 표면은 저온 템퍼링을 실시함으로 해서 표면조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 안정화되었다. D타입 표면은 고온 템퍼링을 실시함으로 해서 표면조직이 템퍼드 미세 조직으로 보다 더 안정화되었다.

네가지 시편의 표면 거칠기 분포를 조사한 결과 밀링과 연삭 가공 면은 와이어 컷 방전가공, 와이어 컷 방전가공 후 템퍼링 면보다 월등히 좋았다. 와이어 컷 방전가공 후 템퍼링 면이 와이어 컷 방전가공 면보다 약간 개선이 되었다. 이에 W-EDM 가공후에 고온 열처리를 하여 열변질층을 완전히 제거할 수 있음을 알았다.

- [1] H. Yokoi, H. Hiraoka, 1987, Development of A Laminated Broaching Tool Manufactured by Wire EDM, Annals of the CIRP, Vol. 36, p. 1.
- [2] S. banerjee, B. V. Prasad, P. K. Mishra, 1997, Analysis of Three-Dimensional transient Heat Conduction for Predicting Wire Erosion in the Wire Electrical Discharge Machining Process, J. Mater. Process. Tech., Vol. 65, pp. 134~142.
- [3] G. Spur, J. Cchonbeck, 1993, Anode Erosion in Wire-EDM-A theoretical Model, Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 253~256.
- [4] Y. S. Liao, Y. Y. Chu, M. T. Yan, 1997, Study of Wire Breaking Process and Monitoring of W-EDM, Int. J. Mach. Manufact, Vol. 37, No. 4, pp. 555~567.
- [5] C. A. Huang, C. C. Hsu, H. H. Kuo, 2003, The Surface Characteristics of P/M High-Speed Steel (ASP23) Multi-cut with Wire Electrical Discharge Machine(W-EDM), J. Mater. Process. Technol. Vol. 140, pp. 298~302.
- [6] Y. F. Luo, 1999, Rupture Failure and Mechanical Strength of the Electrode Wire used in W-EDM, J. Mater. Process. Technol. Vol.94, pp. 208~215.
- [7] H. T. Lee, T. Y. Tai, 2003, Relationship between EDM parameters and Surface Crack Formation, J. Mater. Process. Technol. Vol. 142, pp. 676~6832.
- [8] L. C. lee, L. C. Lim, V. Narayanan, V. C. Venkatesh, 1988, Quantification of Surface Damage of Tool Steels after EDM, International, J. of Machine Tools, Vol. 28, pp. 359~372.
- [9] J. C. Rebelo, A. Morao Dias, D. Kremer, J. L. Lebrun, 1998, Influence of EDM Pulse Energy on the Surface Integrity of Martensitic Steels, J. of Mater. Process. Technol., Vol. 84, pp. 90~96.
- [10] K-K Choi, W-J Won, Y-S Lee, 2004, Effects of Machining Methods on the Surface Characteristics of Die Steel STD11, J. KSMPE, Vol. 3, pp. 17~23.