

금형가공방법이 합금공구강 표면에 미치는 영향

최계광^{1*}, 김세환²

Effect of Die Machining Method on the Surface of Die Steel STD11

Kye-Kwang Chio¹ and Sei-Hwan Kim^{2*}

요약 본 논문은 합금공구강을 기계 가공한 시편과 와이어 컷 방전가공한 시편의 가공면 표면 특성을 비교 분석한 것이다. 와이어 컷 방전가공으로 금형을 제작하면 기계가공으로 가공하기 어려운 형상의 제품을 쉽게 제작할 수 있다. 그러나 기계가공으로 제작된 금형에 비해 수명이 현저히 저하된다. 이러한 요인은 와이어 컷 방전가공으로 제작된 금형 표면에 가공 변질층이 발생하기 때문이라 사료된다. 두 시편의 표면 거칠기 측정 결과 1차 와이어 컷 방전가공한 시편의 표면 거칠기 분포가 거칠음을 알 수 있었다. 주사 전자 현미경 관찰 결과 두 시편의 표면부와 단면부는 큰 차이를 보였고 와이어 컷 방전가공한 시편의 단면부는 표면의 급열 급랭된 조직이 가공 변질층으로 존재함을 알 수 있었다.

Abstract This paper has comparatively analyzed the characteristics of the machined surface of a specimen made by machining Die Steel STD11 and a specimen obtained by W-EDM steel. If a press die is manufactured through W-EDM, products of shapes that cannot easily be made through machining can be manufactured easily. However, the life of the press die is significantly reduced compared with the press die made through machining. This is believed to be caused by the deformed layer that has occurred on the surface of the press die that was made through W-EDM. The roughness of the 2 specimens was measured, and it was learned that the distribution of the roughness of the specimen made through the 1st W-EDM was rough. When the specimens were observed using a scanning-electron microscope, there was significant difference between the surface and the cross-section of the 2 specimens, while the cross section of the specimen obtained through W-EDM had the tempered and quenched surface structure which exists in the form of a deformed layer.

Key Words : W-EDM, Surface Roughness, 가공 변질층, microstructure

1. 서론

와이어 컷 방전가공은 방전 현상을 이용하는 가공법이므로 일반 방전 가공에 비해서 대단히 작은 방전 면적을 갖는 가공법이다.

와이어 컷 방전 가공은 취성이 강한 재료나, 연한 재료 또는 단단한 재료라도 전기가 통할 수 있다면 어떠한 재료라도 변형 없이 가공이 가능한 장점을 가지고 있고, 특히 가공이 어려운 경비를 절감하며 정밀도를 향상시킬 뿐 아니라 NC기술의 도입으로 가공속도가 향상됨으로써 거의 무인 운전의 상태까지 발전함에 따라 수요가 급속

히 확산되고 있다.

와이어 컷 방전가공의 산업적 중요성이 증대됨에 따라, 와이어 컷 방전가공을 한 금형의 가공면의 거칠기[1], 가공 변질층 형성[2][3], 균열[4] 등의 발생에 대한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 와이어 컷 방전 가공으로 제작된 금형의 단점으로는 기계가공으로 제작된 것보다 수명이 짧고, 표면이 약간 거친 점을 들 수 있다. 와이어 컷 방전 가공에 의해 제작된 금형의 경우, 표면층의 경화현상이 발생하여 금형수명의 연장이 가능하다. 금형의 수명 연장은 생산성을 향상시킬 수 있으므로 산업적 가치가 매우 크다 하겠다. 본 연구에서는 기계가공과 와이어 컷 방전 가공에 의해 제작된 합금공구강 STD11의 금형 수명 비교를 목적으로 하였고 위와 같이 제작된 시편의 표면 및 표면층의 특성을 비교 분석하고자 한다.

¹(주)현대배관

²공주대학교 기계자동차공학부

*교신저자 : 최계광(ckkwang@naver.com)

2. 본 론

2.1 실험 장치 및 시편

그림 1은 본 실험에서 사용한 와이어 컷 방전가공기는 대우 중공업(주)의 ACE W535로 방전가공 조건은 표 1과 같다. 본 실험에서 사용한 와이어 전극은 $\varnothing 0.25\text{mm}$ 황동선 2종이며 다이블록 재료는 프레스 금형 제작에 많이 이용되고 있는 합금공구강(STD11)으로 하였다. 본 연구에서는 평면연삭기 DS G-800H를 사용하였으며 최대주축 회전속도는 1710RPM이다. 시편의 평면연삭 절입량을 1회에 0.03mm로 하였다. 시편의 크기는 8mm×8mm×10mm로 밀링가공하고 평면 연삭하여 제작하였다. 이와 같이 제작된 시편을 2.3절의 실험방법과 같이 열처리를 하였다.

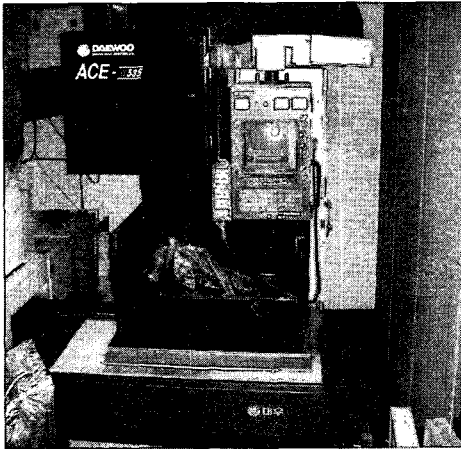


그림 1. 와이어 컷 방전가공기

열처리된 시편을 기계가공과 와이어 컷 방전가공을 이용하여 다음과 같이 두 가지 타입으로 제작하였다.

A 타입은 열처리된 시편의 10mm를 8mm로 평면 연삭 가공으로 제작 하였다.

B 타입은 열처리된 시편의 10mm를 8mm로 와이어 컷 방전가공으로 제작 하였다. 각각의 실험에 사용된 시편 측정값의 신뢰성을 높이고 청결상태를 유지하기 위해 미세 버어(burr)제거, 초음파 세척 등의 전 처리 공정을 수행하였다. 이상과 같이 제작된 시편을 JEOL사의 모델 JSM5410 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope)으로 2000배로 확대하여 조직을 관찰하였고 EDS로 표면 성분의 변화를 정량분석 하였다. SEM실험에 사용된 시편의 수는 각 타입별로 2개씩 총 4개를 사용하였다.

2.2 측정 방법

실험에 사용한 측정 장치는 영국 Taylor Hobson사의

Talysurf Series 2를 이용하여 가공면의 표면형상을 측정 하였다. 측정방법은 traverse unit에 부착되어 있는 pick-up으로 가공된 시편의 정보를 읽어 들여 컴퓨터에서 표면형상을 보여준다. 시편의 측정은 축 방향과 이송방향 양 끝 단을 각각 2mm씩 제외하고 이송방향으로 100 μm 간격으로 총 41단계로 축 방향을 측정하였다. 측정기의 기본 설정값은 표 2에 나타내었다.

표 1. 와이어 컷 방전가공 조건표

와이어 컷 방전가공 조건	1차 가공
ON	6
OFF	15
I P	17
H P	1
M A	16
S V	2
V	3
S F	6
C	0
W T	0.23
W S	4
W P	5
F S	5.15 - 5.20

표 2. 거칠기 측정 조건

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

2.3 열처리 방법

그림 2는 실험에 사용한 진공 열처리로 이다. 시편 제작을 위해 STD11 재료로 밀링가공, 평면 연삭 작업을 완료한 후에 진공열처리로에서 열처리를 하였다. STD11의 열처리조건에 따라서 650 $^{\circ}\text{C}$ 로 1시간, 850 $^{\circ}\text{C}$ 로 2시간, 1030 $^{\circ}\text{C}$ 로 2시간 30분간 렌칭을 하였다. 시편을 꺼내어 전기로에 넣고 200 $^{\circ}\text{C}$ 로 1시간씩 2회 저온 템퍼링을 하여 열처리를 완료하였다. 열처리 후에 평면연삭작업을 하고 와이어 컷 방전가공을 하여 시편 제작을 완료하였다.

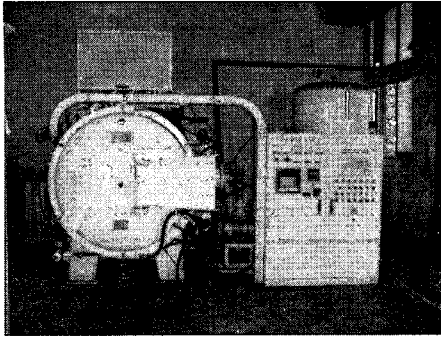


그림 2. Vacuum furnace

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

가공면 표면 분포를 표면 거칠기 측정기를 이용하여 측정된 값을 표 3과 같이 나타내었다. 표면 거칠기를 나타내는 Rt(maximum roughness depth)값과 Rp(levelling depth)값은 1차 와이어 컷 방전 가공을 하게 되면 가공 중에 황동선의 진동과 on time에 의해 시편의 표면 거칠기가 일정하지 않고 불규칙하게 형성된다. 이러한 영향까지 확인하기 위해서 Rt 값과 Rp 값을 선정하였다. Rt 값과 Rp 값은 A 타입이 작은 값을 나타내었으며, 와이어 컷 방전 가공한 B 타입이 6배 이상 큰 값을 나타내었다.

표 3. 표면 거칠기 측정값 (unit : μm)

Type		A type	B type
Rt	1	3.87	22.43
	2	3.30	21.22
	3	3.74	23.70
	Average	3.64	22.45
Rp	1	1.76	11.06
	2	1.01	11.21
	3	1.32	12.98
	Average	1.36	11.75

A타입 표면깊이분포를 보면 Rt $3.64\mu\text{m}$, Rp $1.36\mu\text{m}$ 로 나타내고 있다. B타입 표면깊이분포를 보면 Rt $22.45\mu\text{m}$, Rp $11.75\mu\text{m}$ 로 와이어 컷 방전가공 한 면임을 나타내고 있다. A타입 표면깊이분포를 보면 B타입보다 Rt $18.81\mu\text{m}$, Rp $10.39\mu\text{m}$ 향상되었음을 확인할 수 있었다. 이와 같이 1차 와이어 컷 방전가공을 하게 되면 황동선의 진동과 펄스 전원공급(on time)에 의해 와이어 컷 방전가공면이

거칠어지게 되고 열적 요인에 의한 가공 변질층이 발생하게 된다. 가공 변질층의 두께는 $10 - 25\mu\text{m}$ [5]정도이며 금명수명을 단축시키는 요인이 된다고 사료된다.

베어링 비율은 프로파일 형상에 대한 정보와 내마모성 관련 표면에 대한 정보를 제공해준다.

그림 3과 같이 베어링비율의 경사가 완만할 때는 내마모성이 강한 것을 의미하며 그림 4와 같이 베어링 비율의 경사가 급격할 때는 내마모성이 약한 것이라는 것을 의미 한다

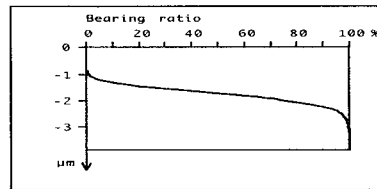
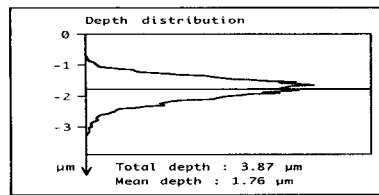


그림 3. A type의 표면 조도분포

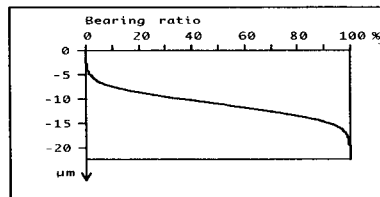
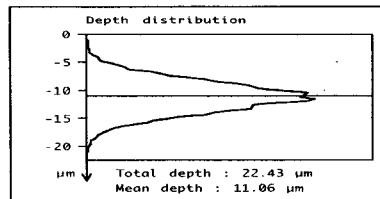
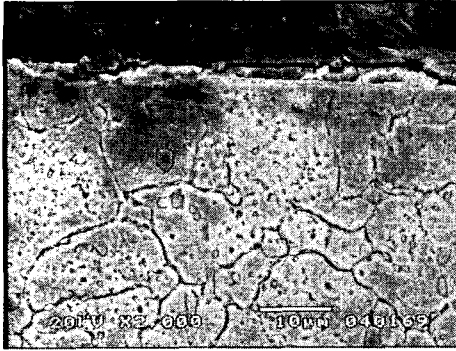


그림 4. B type의 표면 조도분포

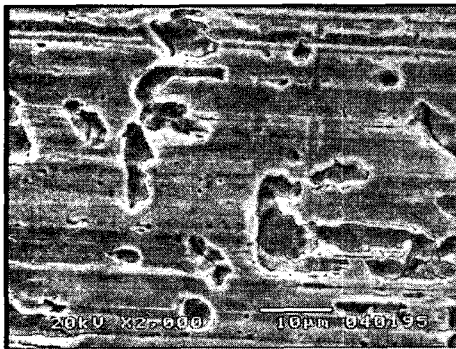
3.2 고찰

그림 5의 A타입 표면부 사진에는 평면연삭기로 연삭을 하면서 떨어져나간 부분이 많이 관찰되는데 이 부분은 가공 전 미세조직에 분포되어 있던 Cr탄화물이 연삭

을 하면서 떨어져 나가면서 생긴 부분으로 사료된다. A 타입의 단면부에서도 알 수 있듯이 5 μ m가 기계 가공시 탄화물 입자의 탈락에 의한 것임을 알 수 있었다.



(a) 단면부

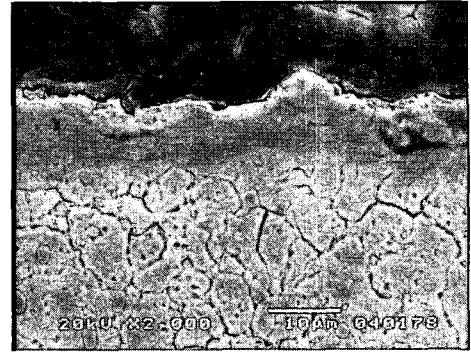


(b) 표면부

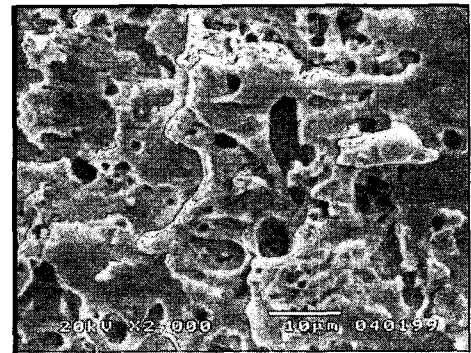
그림 5. A type의 주사 전자 현미경조직

그림 6의 B타입 표면부 사진에서 보이는 어두운부분의 깊이는 20 μ m이상 되고 와이어 컷 방전가공을 하면서 발생이 된 가공 변질층부이다. 가공 변질층부는 세부적으로 재용고층, 백층, 상변환층, 모재 등으로 세분할 수 있다. 그림. 6(a)의 가공 변질층에서 다량의 크랙 발생이 관찰되는데 이는 와이어 컷 방전 가공시 소재의 급열과 급냉에 의해 발생하는 마르텐사이트 변태와 관련된 것으로 보인다. B타입의 단면부에서 보듯이 와이어 컷 방전 1차 가공에 의해 20 μ m이상의 최대 거칠기를 보이고 있다. EDS 검사결과 Fe는 81.11%, Cr은 12.88%로 측정되었고 A타입과 다른 점은 Cu성분이 4.60% 검출 되었다는 것이다.

이것은 와이어 컷 방전 가공을 하면서 공구인 구리선이 용융되면서 원소재 표면에 불규칙적으로 용착된 결과로서 나타난 것이다. Cr의 함량이 A타입은 13.65%로 검출되었고 B타입에서는 12.88%로 검출되었다.



(a) Cross section



(b) Top view

그림 6. B type의 주사 전자 현미경조직

그림 7에서는 각 타입별 Fe, Cr, Cu 성분의 함량을 퍼센트(%)로 표시하였다. 그림 7에서 A타입이 B타입보다 Cr함량이 높게 관찰된 이유는 다음과 같다. 첫째는 대부분의 Cr탄화물이 연삭 가공시 탈락되어 나갔으나 일부 Cr탄화물은 잔존한다. 이 부분을 측정하는 경우 Cr함량이 높게 관찰된다.

두 번째는 A타입과 B타입을 EDS 면분석시에 Fe, Cr, Cu의 3 원소 구성이 100% 되는 조건하에서 측정하였다. 따라서 A타입에는 Cu가 없기 때문에, 탄화물 자체의 Cr함량은 변화가 없으나 상대적으로 Cr의 함량이 높게 관찰되었다. B타입의 경우, Cu함량을 제외하고 Fe와 Cr로 구성되었다는 가정 하에 Cr함량을 계산하면 13.70으로 A타입과 거의 유사한 값이 얻어진다. 따라서 그림. 7에서 B타입의 Cr함량이 낮게 관찰되는 것은 두 번째 이유에 기인한다고 생각된다.

그림 7의 B타입의 성분분석에서 Cu가 측정된 결과로부터 와이어 컷 방전 가공시 황동선의 Cu가 시편 표면에 부착되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 시편을 템퍼링하는 경우 일부 부착된 Cu가 탈락하는 현상이 발생되어 템퍼링한 시편의 표면 거칠기가 다소 개선될 것이라 사료된다.

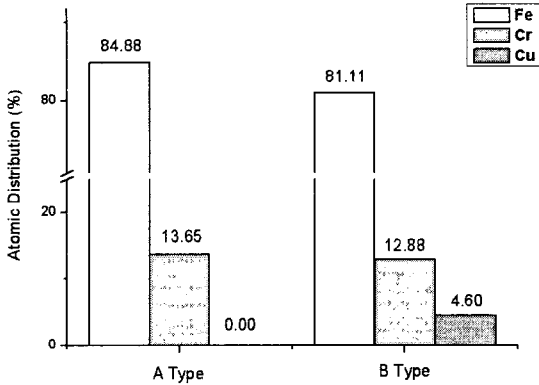


그림 7. 시편 A, B의 원자분포

4. 결론

본 연구의 실험결과 합금공구강의 표면 가공기술에 따른 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

밀링과 연삭 가공된 면의 표면 거칠기 분포는 Rt는 3.64 μ m, Rp는 1.36 μ m로 측정되었고, 와이어 컷 방전 가공면은 Rt는 22.45 μ m, Rp는 11.75 μ m로 측정되었다. 밀링과 연삭 가공면은 와이어 컷 방전 가공면보다 월등히 좋았다. 와이어 컷 방전가공에 의해 제작된 가공면이 기계가공에 의해 제작된 가공면 보다 표면 거칠기 분포 값이 6배 이상 증가하여 금형수명단축에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 와이야放電 加工 の 研究, "カテスフテスト加工表面改善", 電氣加工技術, Vol. 8, No. 25, 1985.
- [2] 고성우, "와이어 컷 방전가공 조건이 STD 11의 변질층에 미치는 영향에 관한 연구", 공학석사학위논문, 울산대학교, 1997.
- [3] 向山, 緒方, 日原, "放電加工における應力分布に關する研究(제3報)", 電氣加工學會誌, Vol. 15, No. 29, 1981.
- [4] 眞鍮 明, 榮石雄一郎, "와이아放電加工", 日刊工業新聞社, pp. 49-52, 1997.
- [5] 금형기술 편집부, "금형기술 통권 13호", pp. 17-23, 1991.

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 기계설계과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 기계설계과 (공학박사)
- 1975년 2월 : (주)무지개 특수조명 기술부장

- 1979년 2월 : (주)삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2005년 3월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

최 계 광(Kye-Kwang Chio)

[정회원]



- 1993년 2월 : 부산공업대학교 금형공학과 (공학사)
- 1995년 8월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 2004년 1월 ~ 현재 : (주) 현대 배관 기술부장

<관심분야>

프레스 금형, 와이어 컷 방전가공