

Wire-cut 방전가공 조건이 STD11의 변질층에 미치는 영향

김진무 · 고성우*
기계공학과

<요 약>

본 연구에는 열처리된 금형강(STD11)을 사용하여 가공조건으로 가공전류, 와이어장력, 이송속도 등을 변화시켜 변질층 깊이와 경도를 현미경 조직사진을 통한 조직변화의 고찰과 경도시험을 하여 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. (1) 변질층의 경도는 가공전류 3A, 와이어장력 1500gf 및 이송속도 80%일 때 $H_V685(H_{RC}59.5)$ 로 가장 높았다. (2) 변질층의 깊이는 가공전류 3A이며 와이어장력 1500gf이고, 이송속도 80%일 때 약 $6\mu m$ 로서 가장 낮았다.

Effects of Working Conditions on Deformed Layer of STD11 in Wire-cut EDM

Kim, Jin Moo · Ko, Sung Woo
Dept. of Mech. Engineering

<Abstract>

In this study, deformed layer thickness, hardness and microstructure of deformed layer were investigated with the variations of peak current, wire tension and feed rate, and the material is heat-treated STD11.

The results have shown that (1) deformed layer thickness is minimum at 3A, 1500gf, and 80% and (2) hardness is the highest at peak current 3A, wire tension 1500gf and feed rate 80%.

* 울산대 교육대학원

1. 서 론

고도의 산업발전에 따라 신소재 개발이 급진적으로 이루어지면서 절삭가공으로는 힘들고 어려운 형상인 제품을 정도가 높게 가공하는 데 사용되는 수치제어 공작기계 중의 하나가 와이어커파트 방전가공기(wire-cut electrical discharge machine, EDM)이다. 2차원 윤곽 가공을 주로하는 와이어 방전가공은 정밀금형의 제작을 주목적으로 하며, 현재 방전가공 중에서 금형가공이 80% 이상을 차지하고 있지만 방전가공기술은 낙후되어 있는 실정이다.

일반적으로 와이어 방전가공은 방전의 열적 작용에 의해 변질층이 형성되어 재료의 신뢰성을 손상시키고, 변질층은 기계부품, 공구, 금형 등의 변형과 파손이 되는 원인이며 피로수명과 내식성 등에도 영향을 주고 있다. 이들 변질층의 발생은 주로 방전가공 조건이나 소재의 특성에 지배되므로 변질층의 발생을 제어하는 조건 선정과 함께 발생된 변질층을 감소시키기 위한 여러가지 방법이 시도되고 있다. 근래에는 많은 연구가들이 가공속도, 가공면거칠기, 정밀도, 복현상, 틈새 등과 같은 가공특성과 가공조건에 대한 해석과 변화에 대한 연구를 하였으며, taper 형상의 가공, 절삭공구의 가공, 가공액에 관한 연구가 진행되고 있다.^{(1)~(8)} 와이어 방전가공에서 변질층은 가공전류, 방전시간, 휴지시간, 콘텐서 용량, 와이어 이송속도, 와이어장력, 가공액의 비저항 등 여러 가지 변수들에 의하여 복잡하게 영향을 받으므로 해석적인 측면 뿐만 아니라 실험적으로도 많은 어려움이 있어서 큰 진전을 보지 못하고 있다.

본 연구에서는 열처리된 냉간금형강(STD11)의 와이어 방전가공에서 방전가공 조건 중 방전에너지에 비교적 큰 영향을 주는 가공전류(peak current), 와이어장력(wire tension) 및 이송속도(feed rate)를 변화시켜서 가공조건에 따른 가공변질층의 발생상태를 현미경 조직검사와 경도시험에 의해 측정·검토하여 가공조건이 변질층에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 시험편

본 실험에 사용된 와이어 전극은 $\phi 0.25\text{mm}$ 황동선이고, 시험편의 재질은 금형강(STD11)으로 각각의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1, 2, 및 3과 같다.

Table 1 Chemical compositions of wire electrode

Chemical compositions(%)					Mechanical properties	
Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Tensile strength(kgf/mm ²)	Elongation(%)
63.1	36.8	0.03	0.02	0.03	60	10

Table 2 Chemical compositions of STD11

Chemical compositions(%)									
C	Si	Mn	P	S	NI	Cr	Mo	V	Fe
1.5	0.3	0.02	0.02	0.03	0.1	11.2	0.81	0.22	rest

Table 3 Mechanical properties of STD11

Element	Tensile strength(kgf/mm ²)	Yield strength(kgf/mm ²)	Elongation(%)	Hardness(HRC)
STD11	72	50	21	61

시험편의 제작에 사용한 소재는 150mm×60mm×25mm 로 가공하여 열처리하는 Fig. 1과 같이 진공로에서 1차 예열을 750~800℃에서 1시간, 2차예열을 1000~1050℃에서 1시간 가열한 후 질소(N₂)가스 분위기 중에서 가압냉각하여 담금질처리를 한 후, 뜨임 처리를 180℃에서 2시간 동안 가열 한 후 공냉하였다. 열처리한 후 소재의 경도는 HRC61이다. 열처리된 소재에서 ϕ 12mm×25mm인 시험편을 Fig. 2와 같이 wire-cut 방전가공으로 제작하였다.

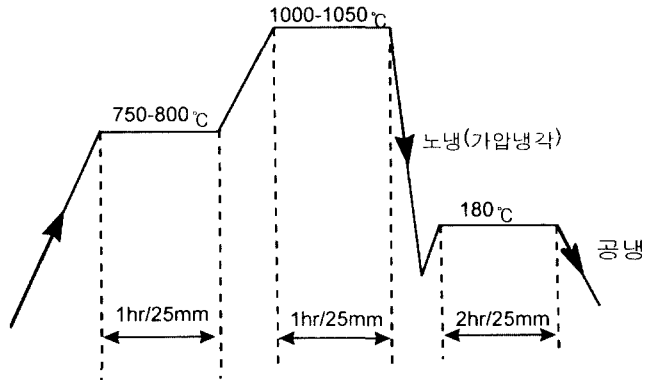


Fig. 1 Heat-treatment cycle

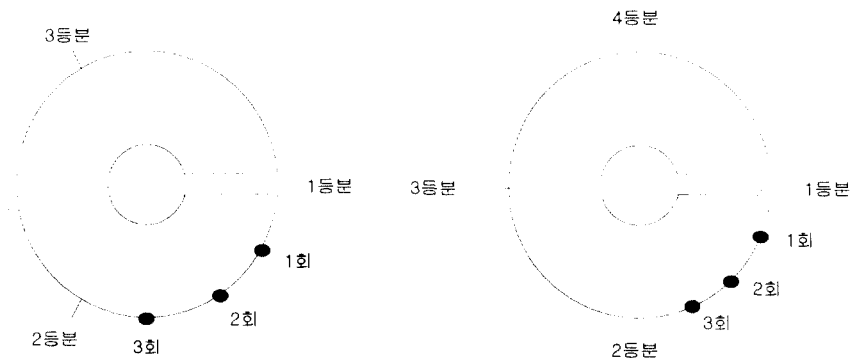


Fig. 2 Specimens

2.2 실험장치

시험편을 와이어 방전가공기(Wonil Co. Model, J3025)로 가공하였고, 가공변질층은 SEM(Akashi Co. Model, SEM ISI)로 관찰하였으며, 변질층의 정도는 마이크로 비커스 경도기(Matsuzewe Seiko Co. Model, DMH-1)로 측정하였다.

2.3 실험조건 및 방법

일반적인 방전가공 조건들을 일정하게 유지한 상태에서 가공전류(peak current), 와이어장력(wire tension) 및 이송속도(feed rate)를 변화시키면서 가공하였으며 가공조건은 Table 4와 같다. 가공속도는 가공이송속도(mm/min)×두께(mm)로 정의되고, 설정가공속도는 1, 2, 3, 4, 5(mm/min)이었고, 이것을 본 논문에서는 20, 40, 60, 80, 100%로 나타냈다. 시험편은 200~1200번의 emery paper로 순차적으로 연마한 후 Al_2O_3 분말(Gammp 0.05 micro polish)을 이용하여 최종연마를 하였으며, 연마 후 물로 세척하여 염화제이철 용액에서 10초동안 부식시켜 건조 후 Fig. 2와 같이 가공된 원둘레를 3~4등분한 후 edge 부분의 조직을 영역별로 관찰하였다. 또한 와이어방전 가공면에 생성된 변질층에 대한 정도는 등분된 각 구간에서 3지점(1회, 2회 및 3회)을 측정하였으며, 압입자의 하중을 0.3kgf로 압입 시간은 15초로 하였다.

Table 4 Working conditions in wire-cut E.D.M.

Power source	Onload voltage	80V
	On-time/Off-time	10/20 μ s
	Peak current	3, 6, 9, 12A
	Condenser Capacity	0.2 μ f
Wire electrode	Material	Brass
	Diameter	0.25mm
	Tension	900, 1200, 1500gf
	Speed	1.5m/min
Dielectric fluid	Specific resistance	Deionized water
		$5 \times 10^4 \Omega$ cm
	Flushing rate	upper 3/min
lower 3/min		
Feed rate		40, 60, 80%

3. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 가공전류, 와이어장력, 이송속도 등 가공조건을 변화시켜서 열처리된 금형강, STD11을 wire-cut 방전가공한 후 가공조건이 가공표면의 변질층에 미치는 영향을 현미경 조직과 경도로서 고찰하였다.

3.1 가공전류의 영향

3.1.1 현미경 조직

와이어장력을 1500gf로 일정하게 하고 이송속도가 각각 40, 60, 80%인 경우에 가공전류를 3, 6, 9, 12A로 변화시켰을 때 방전가공 조건에 따라 가공면에 생성된 조직의 변화를 나타낸 것이 Photo 1~4이다. Fig. 3은 변질층의 깊이를 나타낸 것으로 이송속도가 느리고 가공전류가 높을수록 변질층은 증가되고 이송속도가 빠르고 가공전류가 낮을수록 변질층은 감소된다. 이송속도가 80%이고, 가공전류가 3A일 때 변질층의 깊이는 $6\mu\text{m}$ 로서 가장 낮게 나타났고, 이송속도가 40%이고, 가공전류가 12A일 때 변질층의 깊이는 $22\mu\text{m}$ 로서 가장 높게 나타났다. 변질층의 깊이는 시험편의 종류, 열처리 조건 및 방전가공 조건 등에 좌우하며 그 중에서도 방전에너지의 영향이 크게 받는다고 생각된다. 따라서 방전에너지는 가공전류와 방전펄스, 즉 방전시간과 상관관계가 있으므로 방전펄스폭을 일정하게 한 상태에서 가공전류 값의 변화가 방전에너지의 변화로서 방전가공면의 변질층에 영향을 미친다.

3.1.2 경도

Fig. 4는 경도 분포를 나타낸 것으로 와이어장력을 1500gf로 일정하게 했을 때 이송속도가 40%와 가공전류가 12A일 때 경도는 $H_V580(H_{RC}54.1)$ 으로 최저이었고, 이송속도가 80%이고, 가공전류가 3A일 때 경도는 $H_V685(H_{RC}59.2)$ 으로 최고치가 되었다. 이러한 현상은 가공전류 3A일 때 가장 안정적인 가공이 되는 것으로 보인다. 경도치는 변질층 깊이와 관계가 있는 것으로 사료되며 STD11을 열처리하여 마르텐사이트 조직을 200°C 에서 뜨임하면 정방정의 마르텐사이트가 입방정의 마르텐사이트로 변화한다. 이때 탄화물이 생성되며 잔류 오스테나이트 중에 남아있던 탄화물이 와이어 방전가공시 방전현상 때문에 탄화물이 석출되어 백층으로 보이고 미세한 퍼일라이트(pearlite)핵의 변화를 촉진시켜 오스테나이트의 결정입의 성장을 억제하며 경도가 낮아진다. 또, 열적작용 이외에 전해부식이 일어나 표면의 경도는 낮아진다.

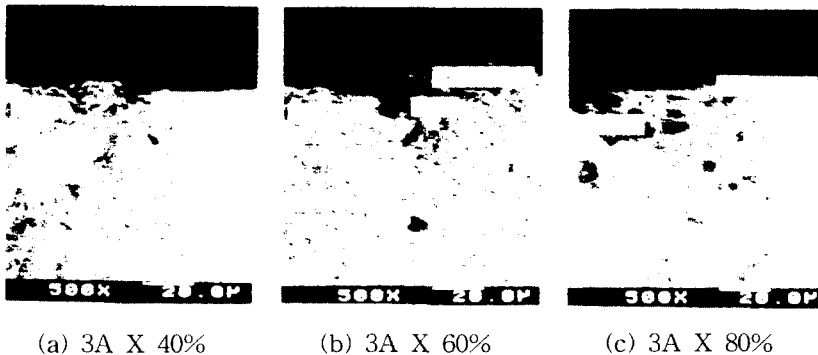


Photo 1. Scanning electron micrographs of deformed layer

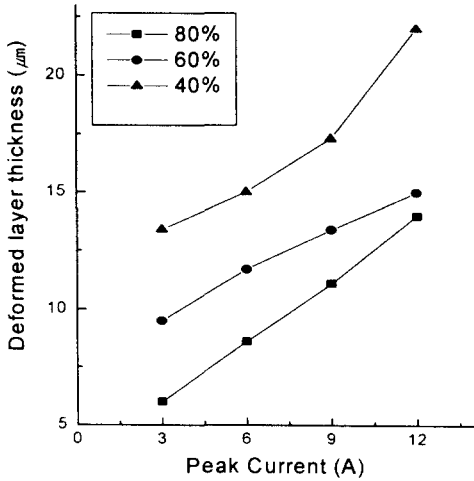


Fig. 3 Variations of deformed layer thickness with respect to the peak current (Wire tension, 1500gf)

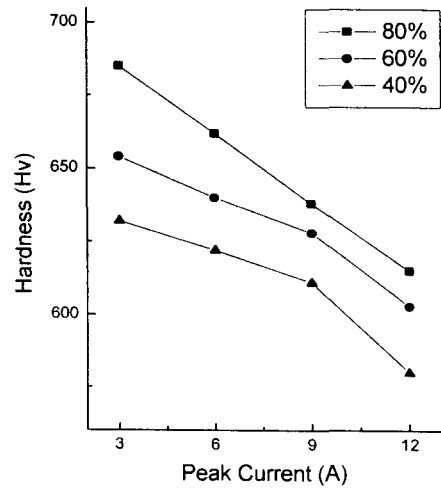


Fig. 4 Variations of hardness of deformed layer with respect to peak current (Wire tension, 1500 gf)



(a) 6A X 40%

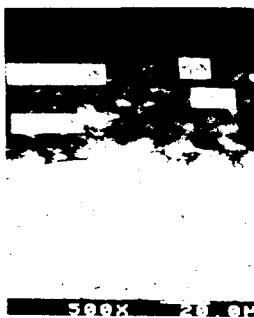


(b) 6A X 60%

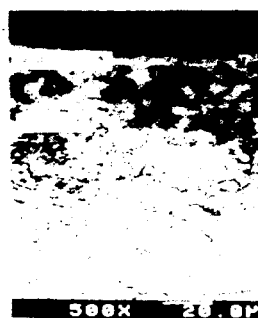


(c) 6A X 80%

Photo 2. Scanning electron micrographs of deformed layer



(a) 9A X 40%

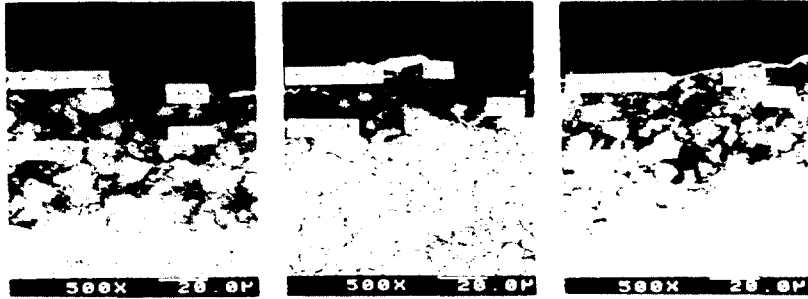


(b) 9A X 60%



(c) 9A X 80%

Photo 3. Scanning electron micrographs of deformed layer



(a) 12A X 40% (b) 12A X 60% (c) 12A X 80%

Photo 4. Scanning electron micrographs of deformed layer

3.2 와이어장력의 영향

3.2.1 현미경 조직

Photo 5~8은 이송속도를 80%로 일정하게 하고 가공전류가 각각 3, 6, 9, 12A의 경우에 와이어장력을 900, 1200, 1500gf로 변화시켰을 때 방전가공조건에 따라 방전가공면에 생성된 조직의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5는 변질층의 깊이를 나타낸 것으로 가공전류가 일정한 상태에서 와이어장력의 변화에 대한 변질층 두께는 와이어장력이 클수록 감소하는 경향을 보이며, 가공전류 3A와 와이어장력이 1500gf일 때 변질층이 $6\mu\text{m}$ 로서 낮게 나타났으며 가공전류가 12A이고 와이어장력이 900gf일 때 변질층은 $20\mu\text{m}$ 로서 높게 나타났다. 와이어 방전가공의 경우 공구상태의 측면에서 볼 때 와이어장력은 와이어 재질과 함께 가공특성에 중요한 영향을 미치므로 적절한 장력을 가함으로서 안정된 가공상태를 얻을 수 있다. 일반적으로 와이어장력은 와이어 직경과 공작물의 가공두께에 따라 결정되고, 와이어장력이 클 때에는 와이어 진동의 진폭이 작고 또한 가공 진행 방향의 진폭이 크므로 가공정밀도에 깊은 관련이 있는 것으로 사료되며, 와이어장력이 작을 때에는 가공 진행방향과 직각방향에 있어서 방전 압력에 의한 와이어 진동의 진폭이 증대함에 따라 방전가공 gap이 커지고 방전가공 속도를 감소시키는 데 이것은 어느 한 가공면에 비교적 장시간 머문다는 것을 알 수 있다. 또 와이어 전극의 진동에 대한 관찰에서는 와이어장력이 작을 때에는 와이어 전극의 진동이 불안정하게 된다. 이와같이 와이어장력이 작을 때에는 단락 등의 원인이 되는 이상 방전이 발생하여 변질층을 증가시킨 원인으로도 생각된다. 따라서 와이어장력이 클 때에는 양방향의 진폭이 작고 가공시의 방전상태도 안정되어 단락 등에 의한 이상방전이 적어짐으로 변질층의 발생 또한 적은 것으로 볼 수 있다.

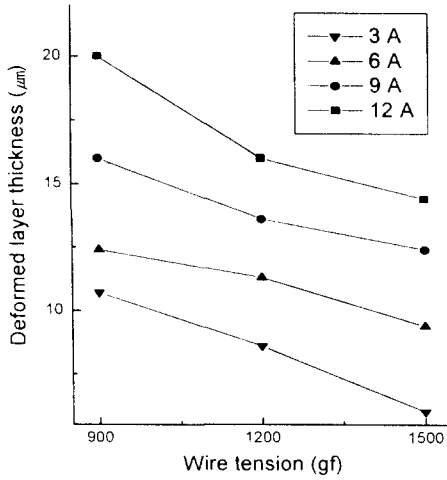


Fig. 5 Variations of deformed layer thickness with respect to the wire tension (Feed rate, 80%)

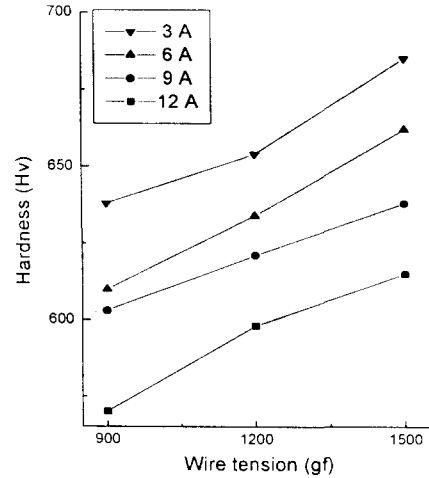
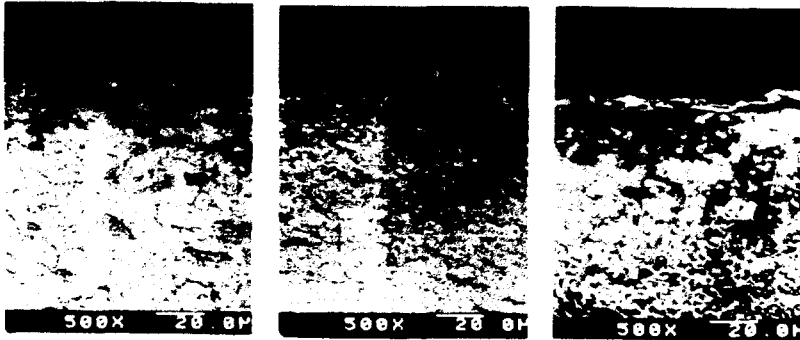


Fig. 6 Variations of hardness of deformed layer with respect to the wire tension (Feed rate, 80%)

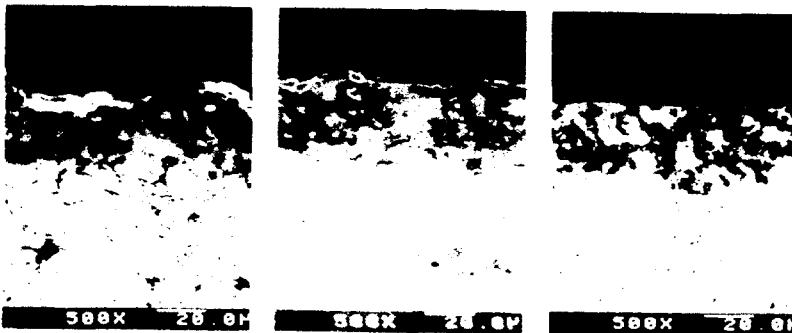


(a) 3A X 900gf

(b) 3A X 1200gf

(c) 3A X 1500gf

Photo 5. Scanning electron micrographs of deformed layer

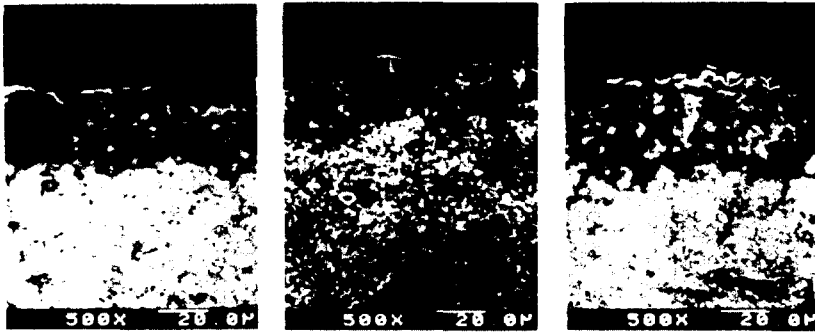


(a) 6A X 900gf

(b) 6A X 1200gf

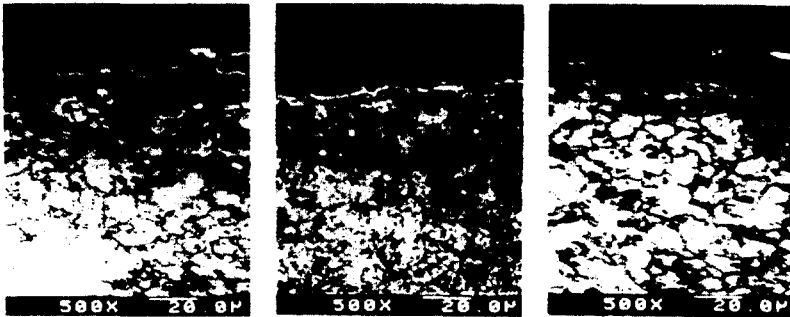
(c) 6A X 1500gf

Photo 6. Scanning electron micrographs of deformed layer



(a) 9A X 900gf (b) 9A X 1200gf (c) 9A X 1500gf

Photo 7. Scanning electron micrographs of deformed layer



(a) 12A X 900gf (b) 12A X 1200gf (c) 12A X 1500gf

Photo 8. Scanning electron micrographs of deformed layer

3.2.2 경도

Fig. 6은 이송속도를 80%로 일정하게 하고 가공한 후 경도를 나타낸 것이다. 와이어장력이 1500gf이고 가공전류가 3A일 때 경도는 H_v685 로 최고치가 되었으며, 와이어장력이 900gf와 가공전류 12A일 때 경도는 H_v570 으로 최저치가 되었다. 와이어장력이 강한 쪽이 약한 경우보다 경도가 커지는 데 이것은 와이어 진동이 작아지기 때문이며 변질층의 감소로 경도는 커지는 것을 알 수 있다.

3.3 이송속도의 영향

3.3.1 현미경 조직

가공전류를 9A로 일정하게 하고 와이어장력을 900, 1200, 1500gf 등으로 하고 이송속도를 40, 60, 80%로 변화시켰을 때 방전가공에 따라 방전가공면에 생성된 조직의 변화를 나타낸 것이 Photo 9~11이다. Fig. 7은 변질층의 두께를 나타낸 것으로 와이어장력이 일정한

상태에서 이송속도 변화에 대한 변질층의 두께는 이송속도가 빠를수록 감소하는 경향을 보이고, 와이어장력이 900gf이고 이송속도가 40%일 때 최대이고, 와이어장력이 1500gf이고 이송속도 80%일 때 최소이었다. 이러한 현상은 가공전류가 일정하게 유지되면 와이어장력이 크고, 이송속도가 빠를수록 변질층은 감소함을 보여준다.

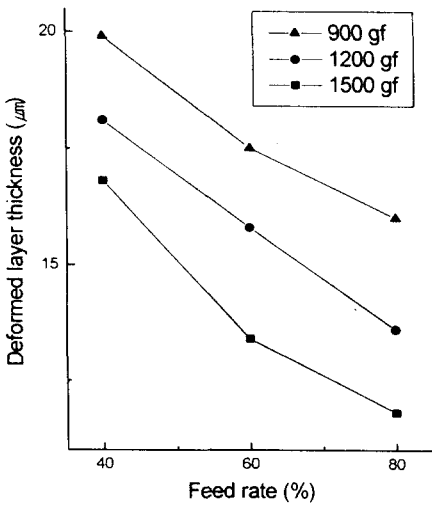


Fig. 7 Variations of the deformed layer thickness with respect to the feed rate (Peak current, 9A)

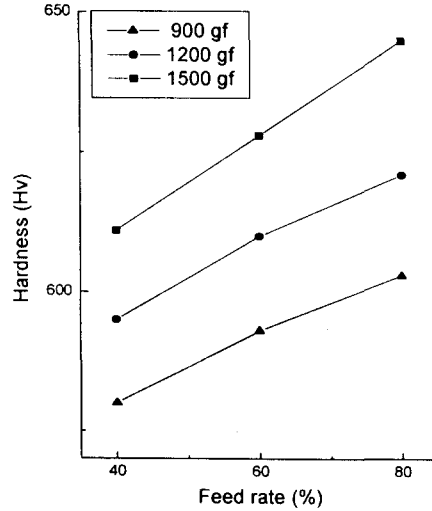
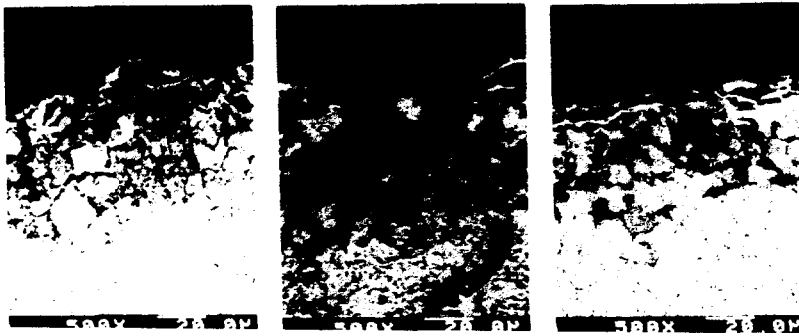


Fig. 8 Variations of hardness of deformed layer with respect to the feed rate (Peak current, 9A)



(a) 900gf X 40% (b) 900gf X 60% (c) 900gf X 80%

Photo 9. Scanning electron micrographs of deformed layer

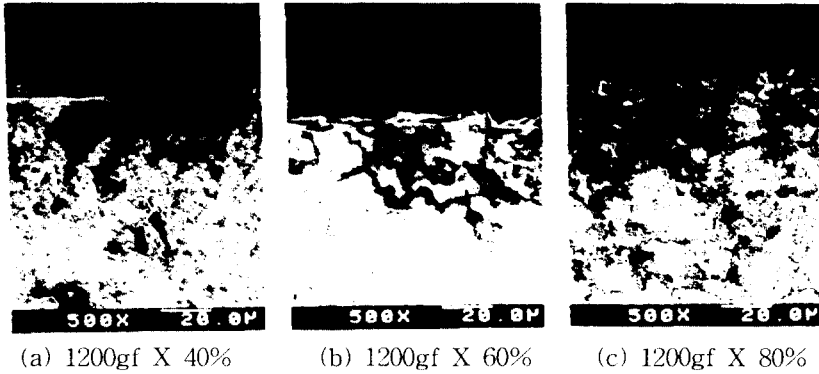


Photo 10. Scanning electron micrographs of deformed layer

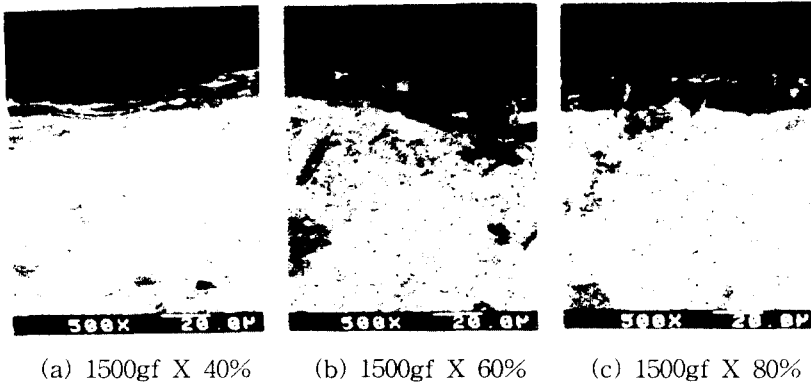


Photo 11. Scanning electron micrographs of deformed layer

3.3.2 경도

Fig. 8은 가공전류를 9A로 일정하게 하고 가공한 후의 경도를 나타낸 것이다. 경도는 와이어장력이 900gf이고 이송속도가 40%일 때 경도는 H_V580 최저치가 되었으며 와이어장력이 1500gf와 이송속도가 80%일 때 경도는 최고가 되었다. 이송속도가 변함에 따라 와이어장력이 강한 쪽이 약한 쪽보다 경도가 커지는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

금형강(STD11)의 와이어 방전가공 조건인 가공전류(peak current)를 3, 6, 9, 12A, 와이어장력(wire tension) 900, 1200, 1500gf 및 이송속도(feed rate)를 40, 60, 80%로 변화를 시켰을 때, 현미경조직과 경도 방전가공면의 용융재응고층과 열영향부의 변질층에 대해서 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 변질층의 두께는 가공전류 3A, 와이어장력 1500gf 및 이송속도 80%일 때 가장 작았

다. 즉, 다른 방전가공 조건이 일정할 때 가공전류가 작고, 와이어장력이 크고, 이송속도가 클수록 변질층은 감소한다.

- (2) 변질층의 경도는 가공전류가 3A, 와이어장력이 1500gf 및 이송속도가 80%일 때 $H_v685(H_{RC}59.2)$ 로 가장 높았다.

참 고 문 헌

1. 김영현, "Wire-cut EDM에서 가공조건에 따른 금형강의 가공정도에 관한 연구", 대전산업대 석사학위논문, pp. 1, 1993.
2. 増井清徳外, "放電加工面の性狀と高品位化", 電氣加工技術, Vol. 15, pp. 13~16, 1991.
3. Mitsubishi Electric ed., "CX series Wire-cut E.D.M. systems machining characteristics data book", Mitsubishi Electric Co., 1991.
4. 유중학외 1명, "Wire-cut 방전가공에서 가공조건이 표면거칠기에 미치는 영향", 한국 기술 교육대학 논문집 (A2-9), pp. 109~111, 1992.
5. 한복수, "Wire-cut E.D.M.에서 Die steel의 최적가공조건에 관한 연구", 숭실대 석사학위논문, pp. 7~12, 1990.
6. 배성한, "와이어컷 방전가공의 특성에 미치는 가공조건에 관한 연구", 창원대 석사학위논문 pp. 11~12, 1993.
7. 정희우, "STD11재료의 Wire-cut 방전가공에서의 최적가공조건에 관한 연구", 숭실대 석사학위논문, pp. 13~15, 1991.
8. 國伎正田, "방전가공에서 방전점분포의 관찰", 電氣加工技術, Vol. 15, pp. 127, 1991