

열처리 조건에 따른 티타늄합금의 와이어 방전가공

김종업*(창원기능대학), 왕덕현, 김원일(경남대 기계자동화 공학부)

Wire electrical discharge machining of titanium alloy according to the heat treatment conditions

J. U. Kim(Changwon Polytechnic College), D. H. Wang and W. I. Kim(Kvungnam Univ.)

ABSTRACT

Titanium Alloys used in this expernment has an good corsion resistance and specific strength, and is the new material developed for medical supplies living goods. In this study the rolled titanium alloy is done by annealing, solution heat-treatment and aging and then is worked by wire EDM. With changing the process conditions, the process properties of surface hardness, surface roughness, shape of process surface and the analysis of ingredients are measured through experiment repeating main cut and finish cut. It is confirmed to gain good measure values as increaing the number of processing of wire EDM In this expernment the phenomina of processing is studied and the appropriate process condition is proposed.

Key Words Wire-EDM(와이어 방전가공) Titanium Alloy(티타늄합금), Annealing(풀림처리), Solution Heat-treatment(용체화처리), Aging(시효처리), Surface hardness(표면경도), Surface roughness(표면거칠기), Shape of process surface and the analysis(가공면 형상 및 조성분석)

1. 서론

방전가공기의 생명은 가공속도와 가공정밀도이며 방전가공기 제조업체들은 각각 독자적인 방전제어회로를 내장한 전원장치를 생산하고 있다. 가공속도와 정밀도를 결정하는 요소는 대개 가공조건, 방전액, 전극의 재질, 방전액 처리에 의한 분류를 들 수 있다. 티타늄합금은 가볍고 견고하면서도 내식성이 양호하기 때문에 생활수준의 향상으로 환경, 스포츠 및 래저에 대한 관심이 높아지면서 티타늄을 기존의 군수용이나 항공우주산업에서부터 민수용으로 활용하고자 각종 제품 개발이 활기를 띠고 있다.^[1-4] 본 연구에서는 티타늄합금의 압연제 및 열처리 공정에서 어나일링, 용체화 와 시효처리를 하여 와이어 방전가공에서 가공조건들인 인가전압, 인가전류, 방전시간, 방전 휴지시간, 및 오프셋량 등을 변화시키면서 와이어가공 횟수를 1차, 2차, 3차, 4차로 증가시키면서 실험을 수행하였다. 위와 같이 티타늄합금의 가공 시 가공조건에 변화를 주었을 때 가공특성에 어떠한 변화가 나타나는지를 규명하고 와이어방전 가공조건을 제시한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 실험재료

본 실험에서는 DAEWOO A320D(Sodic EX21)를 사용 하였으며, 실험재료는 티타늄합금으로서 Ti-Al(6%)-V(6%)-Sn(2%)와 Ti-Al(6%)-V(4%)를 대상으로 하였고, 열처리 공정에서 Annealing 및 용체화와 시효처리 하였으며, 소재는 $\phi 40 \times 60$ 을 4mm 정방형으로 가공하였다. 이 소재의 실온에서의 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다. 또한 본 실험에 사용된 와이어 전극은 $\phi 0.25$ mm의 황동선 2종을 사용하였다.

Table 1 Mechanical property of Ti alloy

Mechanical property	Value	
	6Al-6V-2Sn	6Al-4V
Tensile strength (kg/mm ²)	158	137
Yield strength (kg/mm ²)	147	127
Elongation (%)	14	14
Reduction in area (%)	30	30

2.2 실험방법 및 조건

본 실험에서의 방전조건은 Sodick EX2에서 제시한 실험조건을 활용하였으며, 방전에너지에 직접적인 영향을 미치는 무부하전압(V), 전류피크치(I_p : Peak value current), 방전펄스시간(On time), 휴지시간(Off time)등의 값을 변경한 상태에서 가공하였다. 가공조건은C441~ C683을 사용자 정의 기능을 사용하여 입력한 후 프로그램에서 호출하여 사용하였으며, 와이어 이송속도는 10m/min, 와이어 장력은 0.8kgf에 고정하였고, 가공 조건표는 Table2와 같다.

Table 2 Wire EDM condition

Plate thickness	Machining Cop.	Offser No.	Voltage (V)	Current (A)	R _a value (μm/1mm)	
40	1st	C441	H225	31	15.2	3.5 - 3.8
	2nd	C623	H150	60	1.5	5.0 - 6.0
	3rd	C653	H135	65	1.1	9.0 - 10.0
	4th	C683	H133	30	0.7	9.0 - 10.0

실험재료인 티타늄합금(가공소재 : φ40×60mm)을 와이어 컷 방전가공기의 테이블에 X축 방향으로 장착하여, Fig. 1과 같이 가로, 세로 각각 6등분하여 4mm의 정방형으로 가공하였다. 가공방법은 거친가공(1st cut), 다듬가공(2nd, 3rd, 4th cuts)의 개념으로 1 ~ 4회로 하였으며, 각 횟수별로 가공조건을 변경하여 최적의 데이터를 찾고자 노력하였다

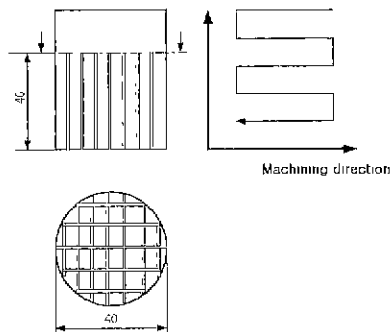


Fig. 1 Workpiece configuration and machining direction

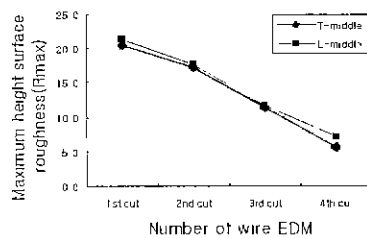
와이어 방전가공 후 각 시편들을 표면거칠기 측정

기, 주사전자현미경, 에너지 분산형 조성분석기, 경도측정기를 이용하여 표면거칠기와 금속표면의 조직 및 경도값 등의 가공특성을 연구하였다. 표면거칠기는 10μm간격으로 cutoff 길이 0.8mm를 기준으로 최대높이 표면거칠기(R_{max})로 나타내었다.

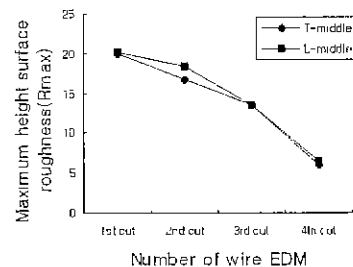
3. 실험결과 및 고찰

3.1 방전 가공면의 표면거칠기 특성

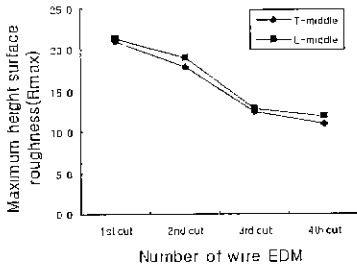
Fig. 2는 실험 재료별로 와이어 방전가공된 피삭재 중심부에서 transverse 방향(테이블 이동방향의 수직방향, T)과 longitudinal 방향에서 각각 8번씩 측정된 최대높이표면거칠기(R_{max}) 평균값들이다. 본 실험에서는 거친방전(1st cut)과 처음 다듬질 방전(2nd cut)과의 측정값이 큰 변화가 없으나 다듬질 방전이 증가할수록(3rd, 4th cuts) 양호한 표면을 나타내고 있다. 이 경우 longitudinal 방향에서 측정된 결과가 transverse 방향에서 측정된 결과보다 표면거칠기가 나쁘게 나타나고 있다. 이러한 결과는 실험소재의 가공 시 테이블의 이송 방향보다 와이어가 이송되는 방향의 표면거칠기 값이 우수하다는 것을 알 수 있었다.



(a) Ti-alloy(Ti-Al6-V6-Sn2)



(b) Ti-alloy(Ti-Al6-V4, Annealing)



(c) Ti-alloy(Ti-Al6-V4. Solution+Aging)

Fig. 2 Surface roughness for number of wire EDM

3.2 방전가공면의 형상 특성

Fig. 3, 4, 5는 주사전자현미경으로 와이어 방전가공면을 관찰한 결과로, 각각의 (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 방전횟수에 따라 1st, 2nd, 3rd 및 4th 방전면의 사진들이다. Fig 들의 (a)에서 보는 것처럼 와이어 방전가공면은 와이어의 윤착 현상이 두드러져 나타나고 있으며, 이에 따라 표면거칠기가 큰값으로 나타나고 있다. 방전횟수가 증가할수록 이러한 현상은 많이 줄어들고 있어 표면형상이 향상되고 있었다.

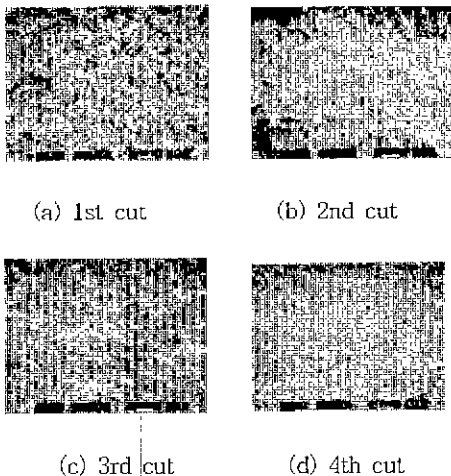


Fig. 3 SEM micrographs of EDMed surface (Ti-alloy, Ti-Al6-V6-Sn2)

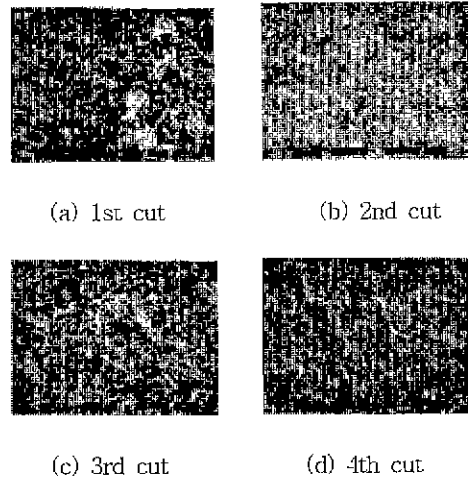


Fig. 4 SEM micrographs of EDMed surface (Ti-alloy, Ti-Al6-V4. Annealing)

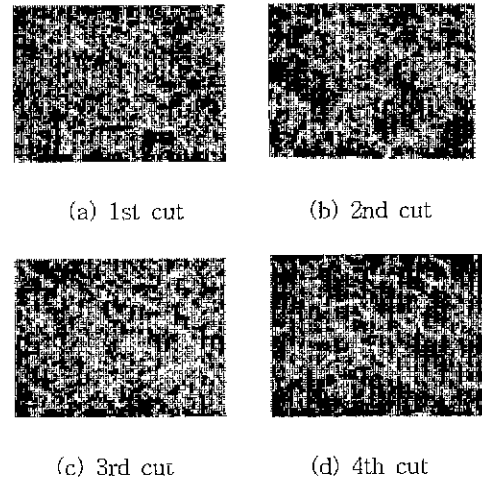


Fig 5 SEM micrographs of EDMed surface (Ti-alloy, Ti-Al6-V4, Solution+Aging)

Fig. 6은 EDX 분석에 의한 방전면 표면에 윤착된 Cu와 Zn을 무게 비율로 나타낸 것이다. 소제 성분 Ti, Al, V, Sn 이외에, 거친방전가공(1st cut)된 면에는 Cu와 Zn 성분이 많이 나타나고 있으나 다듬질 방전가공(2nd cut)부터 현저히 줄어들고 있었다.

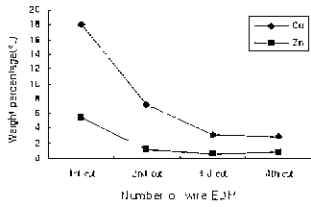
4. 결론

본 실험에서는 티타늄합금을 두 종류 선택해서 와이어 방전가공 후 가공 횟수(1st cut ~ 4th cut)별로 가공조건을 달리하여 가공된 면의 표면 거칠기, 표면형상, 표면경도를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

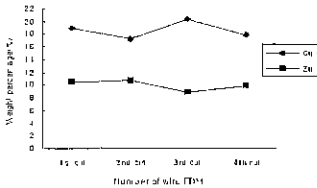
1. 방전 가공면의 표면거칠기는 다듬질가공(2nd, 3rd, 4th cuts) 횟수가 증가할수록 양호한 표면을 나타내고 있고, 아울러 테이블 이송방향의 수직방향에서 우수한 결과치를 얻을 수 있었다.
2. 티타늄합금을 황동선으로 와이어 방전가공하는 경우 거친가공(1st cut)에서 방전가공면에 Cu와 Zn 성분이 많이 함유되어 있는 현상을 확인할 수 있었으며, 또한 소재의 조직이 치밀하고 단단할수록 와이어 성분인 Cu와 Zn의 용착 현상이 적었다.
3. 다듬질 방전가공(2nd, 3rd, 4th cuts)에서는 Cu와 Zn 성분은 많이 없어지고 있음을 확인했고, 가공층의 표면 경도값은 증가 했으며 소재조직 내부와 비슷한 측정치를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

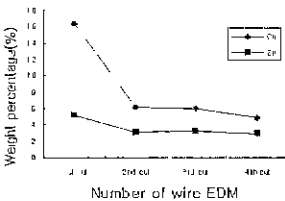
- (1) S. Banerjee, B. V. Prasad and P. K. Mishra, "Analysis of three-dimensional transient heat conduction for predicting wire erosion in the wire electrical discharge machining process", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 65 pp. 134~142, 1997.
- (2) G. Spur and J. Schonbeck, "Anode Erosion in Wire-EDM-A Theoretical Model", Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 253~256, 1993.
- (3) 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. 535~567, 1997.
- (4) 김창호, "초경합금의 와이어방전가공 가공성 및 표면특성", 한국정밀공학회지, Vol. 16, No. 8, pp. 100~105, 1999



(a) Ti-alloy(Ti-Al6-V6-Sn2)



(b) Ti-alloy(Ti-Al6-V4, Annealing)



(c) Ti-alloy(Ti-Al6-V4, Solution+Aging)

Fig. 6 Weight percentage of Cu and Zn versus number of wire EDM

3.3 방전 가공면의 표면경도 특성

Fig. 7은 와이어 방전가공면들의 표면경도를 마이크로 비커스경도기로 10번씩 측정한 결과를 평균값으로 외부 및 내부 영역으로 나타내었다. 와이어 방전횟수가 증가함에 따라 거친 방전(1st cut)에서 다듬질 방전(2nd, 3rd, 4th cuts)으로 진행될수록 방전면의 표면경도값은 증가하는 경향을 나타내고 있다.

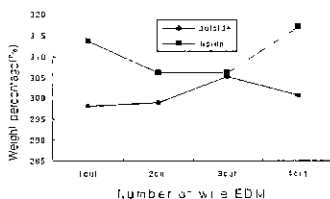


Fig. 7 Hardness(Hv) for number of wire EDM