

Ti계 고용체 탄질화물의 micro-EDM 전극 가능성 평가 Feasibility study on Ti-based solid solution carbonitride for a micro-EDM electrode

*김영추¹, #권원태², 김진남³

*Y. C. Kim¹, #W. T. Kwon(kwon@uos.ac.kr)², J. N. Kim³

^{1,3} 서울시립대학교 기계정보공학과 대학원, ²서울시립대학교 기계정보공학과

Key words : Micro-EDM(마이크로 방전가공), Micro-hole(마이크로 홀), Electrode wear(전극마모), Taguchi method(다구찌방법)

1. 서론

마이크로 방전가공은 전기적인 방전을 이용한 비접촉 가공으로 가공 중 발생하는 잔류응력 및 비틀림이 없고 진동이 발생하지 않기 때문에 가공 정밀도가 매우 높다. 이에 따라서 산업 전반에 걸쳐서 널리 사용되고 있으며, 특히 미세 구멍 가공은 미세 형상 가공에 있어서 기본이 되며, 잉크젯 노즐, 마이크로 터빈, 항공기 엔진부, 광학부품 등에서도 미세구멍의 수요가 점점 더 커지고 있다.^{1,2} 하지만 마이크로 방전가공은 가공공정 중 발생하는 전극소모와 2차 방전과 같은 가공에 좋지 않은 영향을 미치는 현상들이 발생한다. 특히 전극소모는 가공 정밀도와 가공효율을 크게 낮아지게 한다. 2차 방전은 미세구멍 가공에서 빠른 전극소모를 유발시키고 미세구멍의 입구간극을 크게 만들어 정밀도를 낮춘다.

이에 본 연구에서는 새로 개발된 Ti계 고용체 탄질화물을 기존의 WC 전극과 비교함으로써 마이크로 방전가공용 전극으로서의 가능성을 평가하였다. 기존 WC 전극의 최적 조건을 찾아낸 후, 그 조건에서 WC 전극과 Ti계 전극을 이용 미세구멍을 가공하여 결과를 비교하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장치

X, Y, Z 축 이송을 위해 각각 고 정밀 위치제어가 가능한 리니어 DC 모터(Dover, Trilogy LM-210)를 사용하였고 컨트롤러로 Compumotor CM233AX를 사용하였으며 이송축의 위치는 0.1 μm/cts의 분해능을 갖는 엔코더(Heidenhain, LIP401A)를 이용하여 제어하였다. Z 축 회전시스템은 최대 회전속도가 3000rpm인 DC 서보모터(Antimatics Inc. 2315D DC brushless type)로 제작하였으며, 정압공기 베어링의 사용으로 반경방향 회전정밀도를 0.05μm 이내로 조절하였다. 미세구멍 가공을 위한 방전회로는 입력전압과 축전용량으로 단발방전에너지를 쉽게 조절할 수 있는 RC 방전회로를 선택했으며(Fig. 1 a), 전극에 -전원을 연결하고 시편에 +전원을 연결하는 정극성으로 실험을 수행하였다. 와이어 방전가공(Fig. 1 b)으로 전극을 가공 할 때, 유도모터(SPG cop. S6106GB-V12)를 이용하여 40mm/min의 일정한 속도로 와이어를 이송시켜 와이어에 3.5N의 일정한 장력이 걸리게 함으로써 주행편차를 최소화하였다.

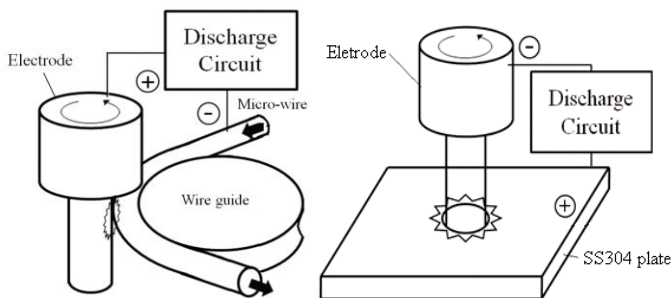


Fig. 1 a. Diagram of WEDM(Wire Electrical Discharge Machining)
b. Diagram of EDM process for a micro-hole

Table 1 Machining condition

Electrode	Material	WC
	Diameter(um)	24~26
	Length(um)	1200, 1700, 2200
Workpiece	Material	SS304
	Thickness(um)	300
Dielectric fluid	Kerosene	
Experimental condition	Feed rate(um/s)	1
	Resistance(Ω)	500
	Voltage(V)	50, 60, 80
	Capacitance(pF)	300, 500, 680
	Rotational speed(rpm)	1500, 2200, 2900

2.2 최적화 실험

직경 300μm, 길이 50mm의 상용 WC 전극을 WEDM으로 가공하여 직경 24~26μm, 길이 1200μm, 1700μm, 2200μm의 크기로 축소한 후, 두께 300μm의 SS304 시편에 미세구멍을 뚫는데 사용하였다. 미세구멍 가공 시 입력전압을 50V, 60V, 80V, 축전용량을 300pF, 500pF, 680pF, 스피들 회전속도를 1500rpm, 2200rpm, 2900rpm으로 전극길이, 전압, 축전용량, 스피들 회전속도를 각각 3 수준으로 설정하여 실험하였다. Z축 이송속도, 충전부 저항은 각각 1μm/s, 500Ω으로 고정하였고, 방전 가공액으로 등유를 사용하였다. 각각의 실험조건을 Taguchi 실험계획법 L₉(3⁴) 직교배열에 적용하여 실험을 수행하였는데, 직교배열표와 각 실험에 대한 결과는 Table 2에 주어졌다.

2.3 최적조건 실험

위의 WC 최적화 실험 결과 얻은 최적조건 하에서 실험을 수행하였다. 기존 상용 WC 재질의 전극과 신 물질인 Ti계 고용체 탄질화물로 각각 직경 24~26μm, 길이 1200μm의 전극을 제작한 후 미세구멍 가공에 사용하였다. 두 실험결과를 비교, 분석하여, 신 물질인 Ti계 고용체 탄질화물의 마이크로 방전가공용 전극 가능성을 평가하였다.

Table 2 Machining condition and result

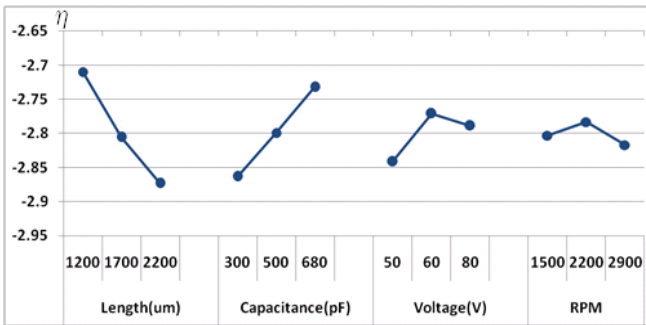
No.	Length (um)	Capacitance (pF)	Voltage (V)	Rotational speed (rpm)	Electrode wear(um)	Numbers of short	Machining time(sec)	Entrance Clearance (um)
1	1200	680	50	1500	482.74	250	1440	7.385
2	1200	500	60	2200	441.05	205	1260	9.18
3	1200	300	80	2900	614.87	38	1080	9.56
4	1700	680	60	2900	526.87	85	1080	8.04
5	1700	500	80	1500	620.96	222	1500	9.345
6	1700	300	50	2200	771.01	600	2580	9.11
7	2200	680	80	2200	609.03	209	1500	12.405
8	2200	500	50	2900	827.77	649	2760	10.95
9	2200	300	60	1500	802.92	1602	4920	12.37

3.1 최적화 실험 결과분석

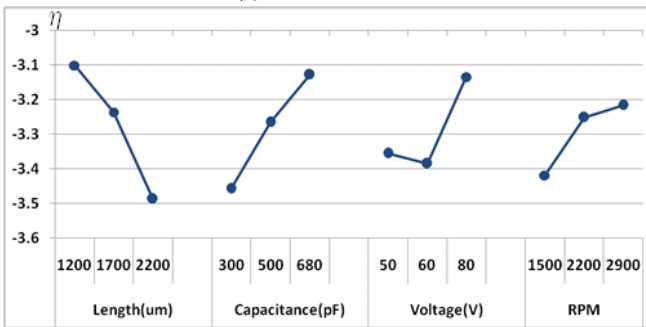
Taguchi 실험계획법 $L_9(3^4)$ 직교배열과 같이 실험을 수행한 결과가 Table 2에 주어졌다. 각각의 실험조건에서 전극마모량, 쇼트 수, 가공시간, 입구간극의 수준별 평균을 구하여 망대특성함수인 $-10\log(x)$ 을 이용하여 Fig. 2와 같이 그래프를 그렸다.

3.2 최적조건의 선정

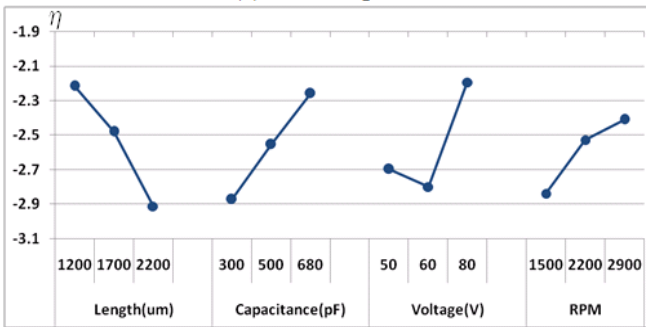
전극의 길이 1200 μm , 축전용량 680pF의 조건에서 가공하였을 때 전극마모량이 적어지고 가공시간이 짧아졌으며, 쇼트 수가 적어지고 입구간극도 작아졌다. 스핀들 회전속도의 경우에는 전극의 마모량은 각 수준별 차이가 크지 않고 가공시간, 쇼트 수, 입구간극에서 2900rpm이 가장 좋은 결과를 보여주기 때문에 2900rpm을 최적조건으로 선정하



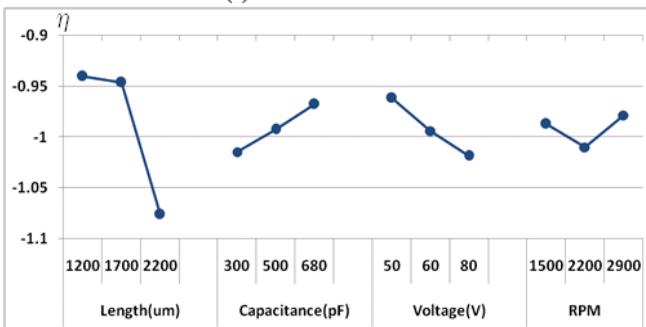
(a) Electrode wear



(b) Machining time



(c) Numbers of short



(d) Entrance clearance

$\eta = -10\log(x)$: (a) $x = \text{electrode wear}$, (b) $x = \text{machining time}$
 (c) $x = \text{numbers of short}$, (d) $x = \text{entrance clearance}$

Fig. 2 Plots of factor effects

Table 3 micro-hole machining on optimal condition with WC and Ti-based solid solution carbonitride electrode

Material of electrode	Electrode wear(μm)	Numbers of short	Machining time(sec)	Entrance Clearance (μm)
WC	489.94	62	960	9.53
Ti-based solid solution carbonitride	402.97	12	780	8.87

였다. 또한, 입력전압이 60V 일 때 전극마모량이 최소이고, 50V 일 때 입구간극이 최소이지만, 80V 일 때 가공시간과 쇼트 수가 크게 향상되므로 80V를 최적조건으로 선정하였다. 결과적으로 전극의 길이 1200 μm , 축전용량 680pF, 입력전압 80V, 스핀들 회전속도 2900rpm을 미세구멍가공 최적조건으로 선정하였다.

3.3 최적조건 실험 결과분석

기준에 사용된 WC 전극과 신 물질인 Ti 계 고용체 탄질화물전극을 앞에서 구한 WC의 최적조건에서 미세구멍을 가공한 결과가 Table 3에 주어졌다. 신 물질전극으로 가공하였을 때 기존 WC 전극과 비교하여 전극마모량이 17.76%, 쇼트 수가 80.65%, 가공시간이 18.75% 줄었으며, 입구간극도 0.66 μm 작아졌다. 결과적으로 Ti 계 고용체 탄질화물전극을 사용하였을 때 모든 부분에서 성능이 향상되었다.

4. 결론

본 연구에서 WC로 미세구멍 방전가공 시의 최적조건을 구하고, 구해진 최적조건에서 WC 전극과 Ti 계 고용체 탄질화물전극으로 미세구멍을 가공했을 때의 결과를 비교, 분석하였다.

- (1) Taguchi 실험계획법 $L_9(3^4)$ 직교배열을 이용하여 최적조건을 찾은 결과, 전극길이 1200 μm , 축전용량 680pF, 입력전압 80V, 회전속도 2900rpm가 최적조건으로 선정되었다.
- (2) WC 전극과 Ti 계 고용체 탄질화물전극을 이용하여 최적조건에서 미세구멍을 가공했을 때 Ti 계 고용체 탄질화물전극이 WC 전극을 사용했을 때보다 전극마모량이 17.76%, 쇼트 수가 80.65%, 가공시간이 18.75% 줄었으며 입구간극도 0.66 μm 작아졌다.
- (3) Ti 계 고용체 탄질화물의 마이크로 방전가공용 전극 가능성이 입증되었고 이 전극의 최적 가공조건에서는 더욱 좋은 결과를 얻을 것으로 기대된다.

후기

이 논문은 2009년도 연구재단 특정기초 연구비로 지원된 연구결과입니다. (20090083820)

참고문헌

1. D. W. Seo, M. S. Park, S. M. Yi and C. N. Chu, 2007, "Machining Characteristics of MicroEDMed holes According to Dielectric Fluid, Capacitance and Ultrasonic Vibrations", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, pp. 42~49
2. P. J. Cho., 2003, "Characteristics of RC circuit with Transistor in Micro-EDM", Seoul national university, Ph. D.
3. G. M. Kim, B. H. Kim and C. N. Chu., 1999, "Machining Rate and Electrode Wear Characteristics in Micro-EDM of Micro-hole", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 16, No. 10, pp. 94~100.