한국소성가공학회 2002년도 금형가공 심포지엄

마이크로 펀칭용 미세축, 미세구멍의 가공

류시형* · 조필주** · 이강희*** · 주종남*

Micro-shaft and Micro-hole Machining for Micro Punching

S.H. Ryu, P.J. Cho, K.H. Lee and C.N. Chu

Abstract

In this study, we developed the manufacturing technology of micro-hole and micro-shaft for micro punching system using micro electrical discharge machining and micro electro chemical machining. Micro punching dies of tungsten carbide with 55 ㎛ and 110 ㎛ diameter and 250 ㎛ depth were made by micro electrical discharge machining. The form accuracy and surface roughness of die hole were pretty good and it was shown that the punched hole quality was fine. WC micro-shaft with 30 ㎛ diameter was made by the multistep micro electro chemical machining. The developed technologies can be effectively used in precision manufacturing of micro punching die and mass production of micro-shaft.

Key Words : Micro Electrical Discharge Machining, Micro Electro Chemical Machining, Micro Punching, Micro-shaft, Micro-hole

1. 서 론

21세기에 접어들면서 기계, 전자, 통신, 화학, 의료 및 생명공학 산업에 이르기까지 마이크로, 나노 시스템 개발에 관한 연구가 더욱 활발해지고 있다. 미세 시스템을 구축하기 위해서는 그 구성요소인 미세 부품의 제작에 관한 기술 개발이 절실히 요구된다. 본 논문에서는 미세 부품 및 미세 금형 개발의 기초 단계로 미세 방전 가공과 미세 전해 가공을 이용하여 마이크로 펀칭용으로 사용할 수 있는 고경도 금형 및 미세축 가공 기술을 개발하였다. 미세 방전 가공은 고경도, 고강성의 재료를 높은 정밀도로 가공할 수 있는 장점이 있으며 가공면의 표면 거칠기 또한 우수하여, 미세 금형 등의 제작에 적합한 가공법이다. Masuzawa[1,2], 김규만[3] 등은 미세 방전 가공을 이용하여 미세구멍, 미세축 제작에 많은 성과를 보였다. 전해 가공은 가공의 특성상 대량 생산에 큰 이점이 있으며, 산업 현장에서 난삭재의 금형 제작 및 표면 거칠기 향상을 위한 마무리 가공법으로 사용되고 있다. 인치현[4] 등은 전해 가공을 반도체 검사용으로 사용되는 미세 탐침의 제작에 적용하였다. 전해 가공을 통해 제작된 미세축은 잉크젯 프린터 노즐이나 자동차 연료 분사 노즐과 같은 미세 구멍의 대량 가공에 사용되는 미세 펀치로 사용이 가능하며, 다량의 미세 구멍을 동시에 가공할 수 있는 미세 방전 가공의 전극으로 사용될 수 있다.

* 서울대 기계항공공학부
** 서울대 제어계측신기술연구센터
*** 동양공업대 자동화시스템과

2. 미세 방전 가공 기술

방전 가공은 절연액 속에서 도체인 전극과 공작물의 양단에 전압을 가하고 간극을 좁히면 순간적으로 절연이 파괴되어 스파크가 발생하고 이 때 생성되는 고열과 폭발 에너지로 공작물을 국부적으로 용융 또는 기화시켜 제거하는 가공 방법이다.

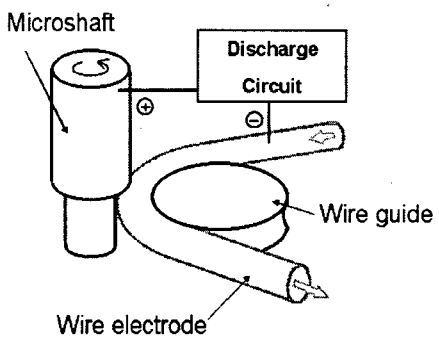


Fig. 1 The principle of WEDM

Figure 1은 미세축 제작에 사용되는 WEDM의 원리를 나타낸 것으로 이 방법을 이용하면 주축의 회전중심과 가공된 미세축의 동심이 일치하게 되므로 제작된 미세축을 전극으로 이용하여 미세 구멍을 가공할 경우 공구의 런아웃 문제가 사라져 가공 정밀도를 높일 수 있는 특징을 가지고 있다.

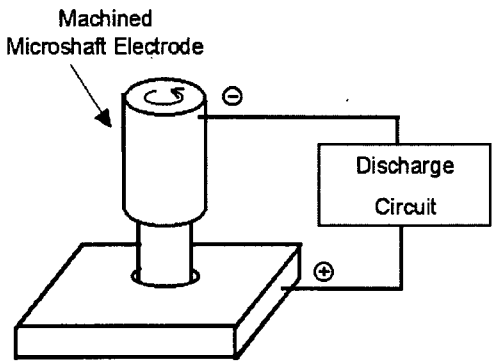


Fig. 2 Microhole machining with microshaft electrode

Figure 2는 미세축을 전극으로 사용하여 금속에 미세 구멍을 가공하는 원리를 나타낸다. 일반적인 방전 가공과는 반대로 미세 방전 가공에서는 공구를 음의 전극에 공작물을 양의 전극에 연결할 때 공구의 마모가 줄어드는 것으로 알려져 있으며, 이는 가공 중에 발생한 탄소가 전극에 달라붙어 공구를 보호하는 역할을 하기 때문이다.

3. 미세 전해 가공 기술

전해 가공은 전해액과 공작물의 전기 화학적 용해 반응을 이용해서 공작물을 원하는 형상으로 가공하는 방법이다. Fig. 3에서 보듯이 다량의 가공재를 동일한 조건으로 동시에 가공할 수 있기 때문에 생산성이 매우 높으며 일반적인 기계 가공과는 달리 비접촉식 가공이므로 가공부하에 의한 가공물 변형의 염려가 없으며 공구의 마모가 없는 장점을 지니고 있다.

본 논문에서는 WC의 미세축 제작을 목적으로 전해액의 농도 및 전압 변화, 가공 시간에 따른 미세축의 형상 특성 등을 고찰하였다.

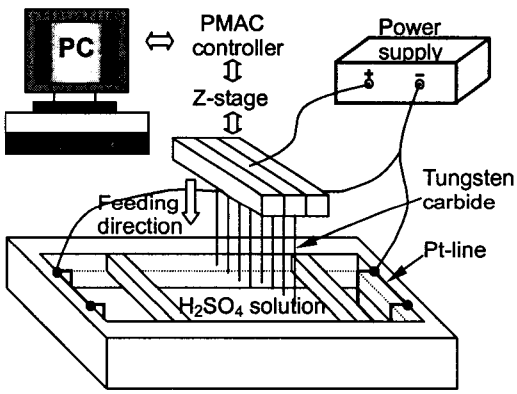


Fig. 3 Schematic diagram of micro electro chemical machining

4. 실험 및 결과

4.1 미세 방전을 이용한 미세축, 편칭 금형 제작

4.1.1 미세축 가공

WEDM 방법을 이용해 제작된 미세축의 형상을 Fig. 4에 나타냈다. 초기에 WC의 직경은 300 ㎛이며, 100 V, 1000 pF 조건에서 황삭을 통하여 직경 100 ㎛까지 가공한 후 축전용량 100 pF, 이송량 5 ㎛/sec를 사용하여 직경 10 ㎛, 길이 300 ㎛의 미세축을 제작하였다. 절연액은 Kerosene을 사용하였다.

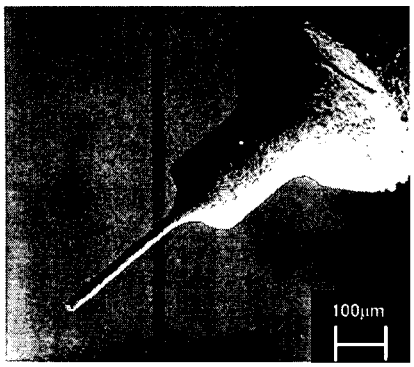


Fig. 4 Microshaft manufactured by WEDM (Φ 10 ㎛ × 300 ㎛, 100 pF, 100 V)

4.1.2 미세 펀칭용 금형 가공

미세 방전 가공을 이용하여 미세 펀칭용 금형을 제작하였다. Table 1에서 제시된 사양으로 두 개의 금형을 제작하였으며, Fig. 5는 제작된 금형의 단면도를 나타낸다. 먼저 위쪽의 큰 구멍은 펀칭툴의 이동 여유공간 확보 등의 목적으로 형상정밀도가 그렇게 엄밀하게 요구되지는 않으므로 탈이온수(deionized water)를 이용하여 미세 방전 가공한 뒤 아래쪽의 작은 구멍은 Kerosene에서 가공하였다.

Table 1 Dimensions of designed micro punching mold

Dimensions	Mold 1	Mold 2
a	300㎛	250㎛
b	110㎛	55㎛
c	750㎛	750㎛
d	1000㎛	1000㎛

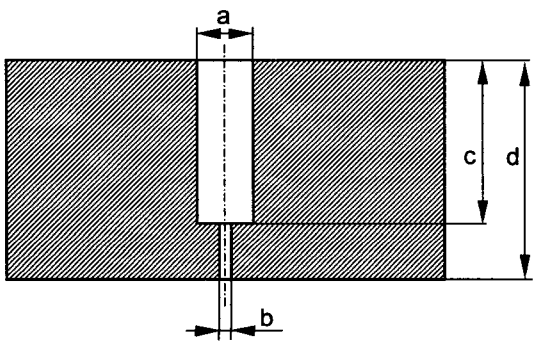


Fig. 5 Crosssectional layout of micro punching die

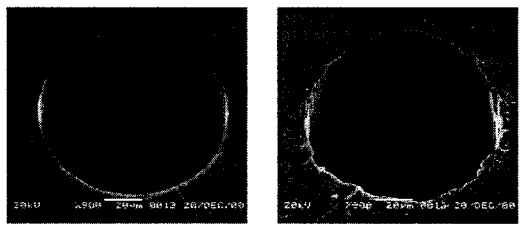
아래쪽의 작은 구멍가공에 사용된 절삭 조건과 결과는 Table. 2와 같다.

Table 2 Machining conditions and results

Machining parameters	Mold 1	Mold 2
Electrode diameter	88 ㎛	44 ㎛
Capacitance	3000 pF	500 pF
Dielectric fluid	Kerosene	Kerosene
Electrode wear	750 ㎛	300 ㎛
Machining time	51 min	20 min
Exit diameter	110 ㎛	55 ㎛

Figure 6은 Mold 1 펀칭 금형의 전자주사현미경(SEM) 사진이다. 사진에서 보듯이 제작된 WC 미세 금형의 형상 정밀도와 표면거칠기가 우수함을 알 수 있다. Fig. 7은 제작된 금형을 이용하여 황동을 펀칭하였을 때의 입구, 출구부 사진을 보여준다. 실험에 사용된 미세 펀치의 직경은 100 ㎛이며 ± 1 ㎛ 이내의 오차를 가진다. 황동의 두께는 100 ㎛이며, 펀치의 이송속도는 150 mm/sec이다.

Fig. 6 Micro punching die made by MEDM (WC, Φ 110 ㎛)



(a) Entry (b) Exit

Fig. 7 Punched microhole on brass[6]

Figure 7(a)는 입구부의 형상이며 (b)는 출구부의 형상을 나타낸다. 사진에서 보듯이 입구부는 밀려들어간 형상없이 깨끗하게 파단 되었으며 출구부는 주위에 약간의 버가 형성되었지만 전체적으로 높은 정밀도를 가진 미세 펀칭이 가능함을 확인할 수 있었다.

Figure 8은 Mold 2 펀칭용 금형의 주사현미경 사진을 나타낸다. 제작된 펀칭용 금형의 직경은 55 ㎛이며 Mold 1에서와 같이 진원도를 포함한 형상정밀도가 우수함을 확인할 수 있으며, 구멍 내부의 표면거칠기도 좋음을 볼 수 있다. 따라서 미세 방전 가공은 WC등의 고경재의 미세 펀칭 금형 가공에 아주 유효한 가공법임을 확인할 수 있다.

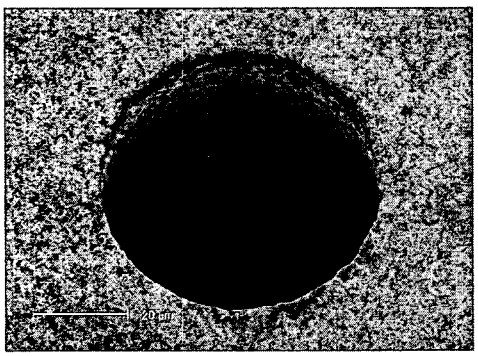
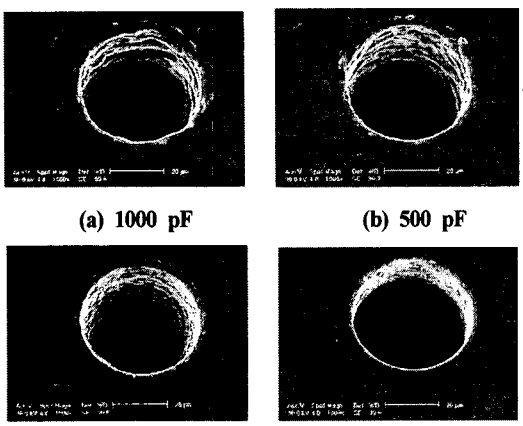


Fig. 8 Micro punching die made by MEDM (WC, Φ 55 ㎛)

Figure 9는 미세 방전 가공에서 축전용량에 따른 구멍 내부의 형상을 비교한 것이다. 공구의 직경은 45 ㎛이며 두께 50 ㎛의 WC를 가공하였다.



(a) 1000 pF **(b) 500 pF**

(c) 50 pF **(d) 10 pF**

Fig. 9 Microhole shape according to capacitance variation

축전 용량이 작아짐에 따라 구멍 내부의 표면거칠기는 좋아짐을 알 수 있으나 가공 시간이 많이 소요된다는 단점이 있으므로 요구하는 구멍의 품질에 따라 적절한 가공 조건을 선정해야 한다.

4.2 미세 전해 가공을 이용한 미세축 제작

미세 전해 가공은 미세 방전 가공에 비해 대량 생산이 가능하다는 큰 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 H_2SO_4 전해액을 사용하여 WC 미세축 제작에 관한 연구를 실험적으로 수행하였다. Fig. 3에서 보듯이 가공재인 다량의 WC 봉을 치구를 사용해 일렬로 정렬하여 양극에 연결하고 백금 전극을 음극에 연결시킨 후, Z축 이송을 통하여 H_2SO_4 전해액 속으로 WC를 침지시켜 전해 작용을 발생시켰다.

전압이 1.7 V를 넘게 되면 양극에서 물의 전기 분해가 이루어져 WC의 표면에서 산소 기포의 발생량이 급격히 증가하게 되고 전해 작용이 방해받게 되어 표면거칠기가 좋지 않으며 미세축의 진직도 확보가 곤란함을 알 수 있었다. 전기 분해가 일어나지 않는 1.5 V 이하의 전압에서는 단위 시간에 금속의 용출이 상대적으로 적어지나, 금속 표면에서 기포가 발생하지 않으므로 균일한 표면형상을 얻을 수 있으며 금속 이온층의 용출 속도에 비해 이온의 확산 속도가 빠르기 때문에 가공을 방해하는 금속 이온층이 생성되지 않게 되어 가공물의 원통도 확보와 형상의 제어 그리고 가공 조건에 따른 재현성의 확보가 가능하다.

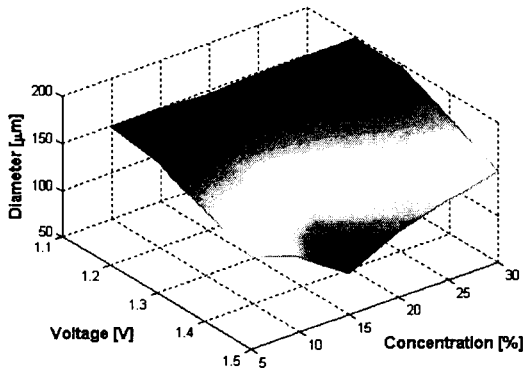
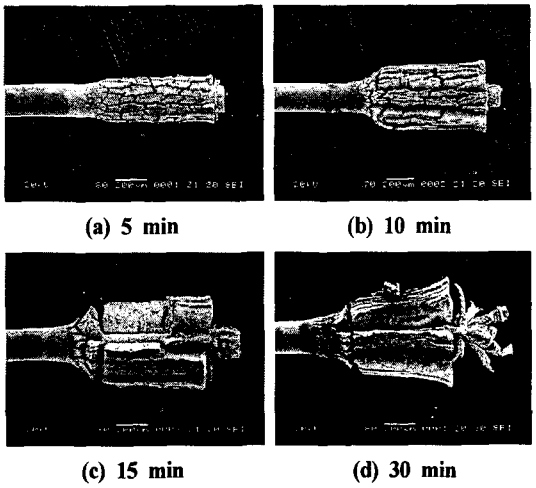


Fig. 10 Micro-shaft diameter according to H_2SO_4 concentration and voltage variations (20 min)

Figure 10은 직경 200 ㎛의 WC를 20분간 전해 가공했을 때 H_2SO_4 전해액의 농도와 전압의 변화에 따른 미세축 직경의 크기를 나타낸다. 앞에서 언급한 바와 같이

1.5 V가 미세축의 진직도를 확보하면서 가공 속도를 높일 수 있는 적절한 전압임을 알 수 있으며 H_2SO_4 전해액의 농도는 15 %가 최적임을 확인할 수 있었다.

Figure 11은 가공이 진행됨에 따라 슬러지의 성장을 보여주고 있다. 시간이 지남에 따라 슬러지는 마치 마른 땅이 갈라지는 형태로 반경방향으로 성장하게 되며 차츰 축방향으로도 성장하여 가공이 끝난 30분 후에는 마치 활짝 핀 꽃의 형태를 띄는 것을 알 수 있었다.



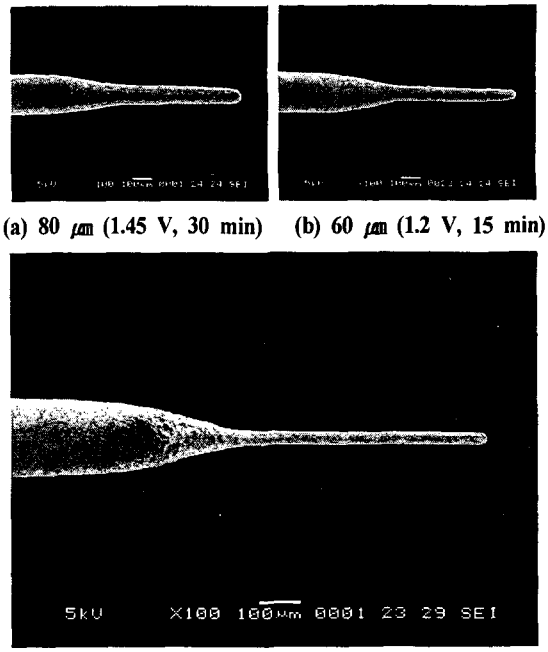
(a) 5 min (b) 10 min

(c) 15 min (d) 30 min

Fig. 11 Sludge growth according to machining time

전류 밀도 해석을 통하여 가공물의 직경과 전압에 따라 테이퍼의 형태로 전해가공이 진행되는 임계 전류 밀도가 있음을 확인하였으며, 따라서 본 논문에서는 미세축의 진직도를 확보하기 위하여 축 직경에 따라 전압을 단계별로 변화시키는 방법을 취했다.

Figure 12(a)는 직경 200 ㎛의 WC 봉을 15 % H_2SO_4 전해액속에서 1.45 V를 인가하고 30분이 지난 후의 가공 형상을 나타낸 것으로 이 때의 축 직경은 80 ㎛이다. Fig. 12(b)는 가공된 시편을 1.2V로 전압 강하한 상태에서 15분간 가공한 후의 모습이며 이 때의 축 직경은 60 ㎛가 얻어졌다. 마지막으로 Fig. 12(c)는 위에서 가공된 시편을 0.75 V를 가한 상태에서 20분 동안 전해 가공한 후에 얻어진 최종 미세축의 형상을 보여준다. 최종적으로 가공된 미세축의 직경은 30 ㎛, 길이는 약 600 ㎛이다. 그림에서 보듯이 전 구간에 걸쳐 균일한 가공이 일어나 진직도가 매우 우수함을 볼 수 있으며 표면의 상태도 매우 양호함을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구 결과로 부터 미세 전해 가공을 통하여 미세 펀치로 활용이 가능한 미세축의 대량 제작이 가능함을 확인하였다.



(a) 80 ㎛ (1.45 V, 30 min) (b) 60 ㎛ (1.2 V, 15 min)

(c) 30 ㎛ (0.75 V, 20 min)

Fig. 12 WC microshaft made by multistep micro electro chemical machining in 15 % H_2SO_4 solution

5. 결 론

미세 방전 가공과 미세 전해 가공을 이용하여 미세 펀칭용 금형과 미세 펀치 가공 기술을 개발하였다. 미세 방전 가공에서는 WEDG 방법을 이용하여 미세축을 가공한 후 이를 전극으로 사용하여 WC 미세 펀칭 금형을 제작하였다. 또한 미세 전해 가공을 이용하여 미세축의 대량 가공 기술을 개발하였으며 위의 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 미세 방전 가공을 통하여 직경 110 ㎛, 55 ㎛의 WC 미세 펀칭용 금형을 제작하였으며, 미세 펀칭 실험을 통하여 제작된 금형이 진원도나 진직도에서 매우 우수함을 확인할 수 있었다.

(2) 축전 용량이 작아짐에 따라 미세 구멍 내부의 표면거칠기는 개선되나 가공 시간이 증가하므로 요구되는 금형의 품위에 따라 적절한 가공 조건의 선정이 중요하다.

(3) 미세 전해 가공을 이용하여 미세 펀칭용 공구의 대량 제작 기술을 개발하였다. 전해액의 농도와 전압 변화에 따른 표면 및 형상 특성을 살피고 미세축의 최적 가공 조건을 제안하였다.

(4) 미세축의 직경과 가공 조건이 형상 및 가공성에

미치는 영향을 고찰하고 다단계 전해 가공을 통하여 직경 30 ㎛, 길이 600 ㎛의 WC 미세축을 제작하였다.

후 기

본 연구는 Milli-Structure 생산기술개발과제 '미세 방전, 전해 가공 기술 개발'의 연구 결과임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

(1) Masuzawa, T., Fujino, M., Kobayashi, K., 1985, "Wire electro-discharge grinding for micro machining", Annals of the CIRP, Vol. 34, pp. 431~434.

(2) Masuzawa, T., Tsukamato, J., Fujino, M., 1989, "Drilling of deep microholes by EDM", Annals of the CIRP, Vol. 38, pp. 195~198.

(3) 김규만, 최덕기, 주종남, 1998, "미세축·구멍가공을 위한 미세방전가공기의 개발", 한국정밀공학회지, 제15권, 제12호, pp. 55~61.

(4) 인치현, 강명주, 김규만, 주종남, 1999, "전기화학적 에칭법을 이용한 텅스텐 탐침의 대량 생산", 한국정밀공학회 99추계학술대회논문집, pp. 1345~1350.

(5) 이강희, 2001, "전해가공에서 텅스텐 카바이드 미세축의 가공 특성", 서울대학교 박사학위논문.

(6) Joo, B. Y., Oh, S. I., Jeon, B. H., 2001, "Development of micro punching system", Annals of the CIRP, Vol. 50, pp. 191~194.