

마이크로 공구를 이용한 미세 구멍 가공기술

허남환*, 이석우, 최현중(한국생산기술연구원)

Micro-hole Machining Technology for using Micro-tool

N. H. Heo*, S. W. Lee, H. Z. Choi(KITECH)

ABSTRACT

Recently, with the development of semiconductor technology the miniaturization of products as well as parts and the products with high precision are being required. In addition as a national competitive power is increasingly effected by micro part development through micro machining and the secure of micro machining technology, the study of micro machining technology is being conducted in many countries. The goal of this study is to fabricate micro tool under the size of 30 μ m and machine micro holes through micro tool fabrication by grinding, the application of ELID to grinding wheel and the measurement of surface roughness for micro tool.

Key Words : Electrolytic In-process Dressing(전해연속드레싱), Micro Tool(마이크로공구), Cutting(절삭), Grinding(연삭), Micro machining(마이크로 가공) Micro hole (마이크로 구멍)

1. 서 론

최근, 반도체기술의 발달과 함께 부품뿐만 아니라 제품의 소형화, 정량화, 정밀도가 높은 제품이 요구되고 있다. 또한, 마이크로가공에 의한 마이크로 부품 개발과 가공기술의 확보가 국가 경쟁력으로 부상되면서 현재 많은 나라에서 마이크로 가공기술 연구가 활발하게 진행 중 이다. 현재까지 마이크로 제작기술의 대부분이 에칭(etching)이나 리소그라피(lithography)등의 기술을 베이스로 미세형상을 제작하였다. 이러한 기술들은 종이와 같이 평탄한 2차원 구조물 이외에는 제작이 어려웠다. 따라서 이러한 제한적 가공법을 극복하기 위하여 3차원형상을 자유롭게 가공할 수 있는 방법으로 과거에는 절삭이나 연삭가공으로 할 수 없었던 가공이 기계 제어기술, 계측기술등의 발달과 더불어 복잡하고 미세한 부품까지 가공 할 수 있게 되었다. 이러한 이유로 인하여 최근에는 3차원 형상의 미세부품과 다양한 물리적, 기계적 성질을 가진 소재를 효율적으로 가공하기 위하여 절삭(cutting)과 연삭(grinding)을 이용한 마이크로 가공기술이 대두 되고 있다.¹⁾²⁾

또한 본 연구에서는 연삭가공에 의한 마이크로

공구를 제작 전에 연삭숫돌의 본드로 코발트 변형주철과 단결정 다이아몬드로 이루어진 숫돌을 이용하였다. 숫돌의 진원도를 유지시키기 위하여 투루잉을 실시한 후에 숫돌의 다이아몬드 입자를 날카롭게 하기 위해 전해연속 드레싱을 하였다. 숫돌의 전해연속 드레싱은 숫돌본드재가 가공중에 공작물과 접촉하면서 날카로움이 나빠지고 가공저항이 커져서 중형비가 큰 마이크로 구조는 가공이 곤란하기 때문에 숫돌의 날카로움을 유지시키는 것이 중요하다. 기존의 마이크로 공구 가공은 방전가공(EDM)과 연삭을 이용하여 마이크로 단위의 형상을 가공과 부품생산에 적용되어 왔다. 그러나 방전가공을 하여 마이크로 형상의 공구를 가공하면 가공력은 적으나 공구 표면에 가공 변질층이 발생하는 문제점이 있다. 또한 연삭을 하는 경우에도 연삭력을 줄여야하는 문제점을 가지고 있다. 또한, 마이크로 공구의 치수가 작아짐에 따라 가공중에 파단되거나 치수정밀도, 표면거칠기가 나쁘게 되어 가공이 어려워진다.³⁾⁴⁾ 이러한 이유로 본 연구에서는 마이크로 공구 가공에 전해연속드레싱(Electrolytic In-process Dressing)을 적용하여 연삭 가공시 발생하는 연삭력 측정과 공구의 표면의 표면거칠기를 측정함과 동시에 연삭력을 감소시키고 표면거칠기를 향상시켜 20 μ m이하의 마이크로

공구를 제작하고자 한다. 또한 이러한 가공 기술을 바탕으로 여러 가지 형태의 마이크로 공구의 제작과 마이크로공구를 이용하여 미세구멍을 가공하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치

Fig. 1과 Fig. 3은 전체적인 실험장치와 자세한 실험장치를 나타내었다. 마이크로 복합가공기의 제어는 소형 Desk top장치이며 3개의 리니어 축(linear axis, X, Y, Z)과 Z축에는 연삭 스피들을 장착하였다.

모든 축은 cross roller guide의 stepping motor에 의해 높은 직전성을 실현하고 있으며 X, Y, Z축의 최고 분해능은 각각 0.25 μ m의 제어가 가능하다. 주축은 air spindle로써 회전수는 2,000 ~ 40,000rpm까지 회전이 가능하다. 기계의 모든 이송장치는 NC unit를 컴퓨터에 의해 모든 제어가 이루어진다. 또한, 정확한 크기의 마이크로 핀 가공을 위하여 핀 가공중에 기계상에서 형상을 측정할수 있는 비전 시스템을 Fig. 2에 나타내었다.

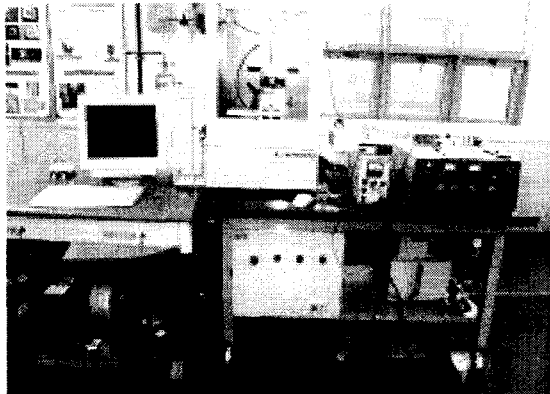


Fig. 1 External View of Compact Cylindrical Grinding Machine

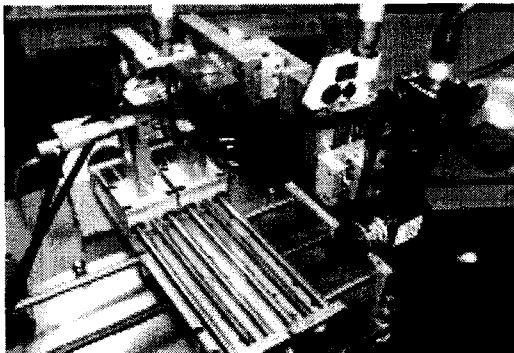


Fig. 2 External View of Compact Vision System

2.2 실험방법 및 가공 조건

마이크로 복합 가공기를 이용하여 시편을 가공하기 전에 모든 슷돌은 투루잉(truing)과 드레싱(dressing)과정을 거치게 된다. Fig. 3은 Truing System과 ELID System을 나타내었다. 슷돌의 투루잉과 ELID를 위한 가공조건을 Table 1에 나타내었다.

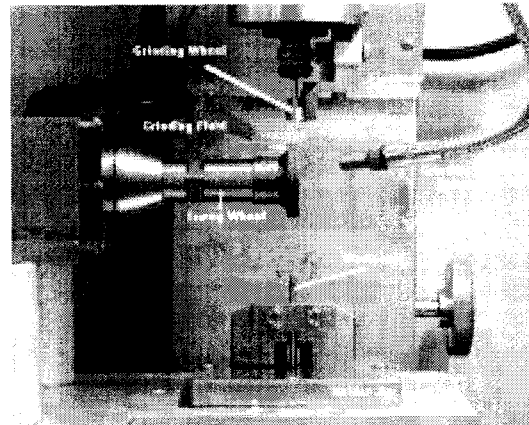


Fig. 3 Close-up View of ELID and Truing Grinding System

투루잉 작업시 (+)전극은 연삭스틀, (-)전극은 투루잉 슷돌에 고정하고 냉각제로 미스트(mist)를 투루잉 슷돌과 연삭스틀 사이에 공급하여 플라즈마 방전 투루잉의 방법으로 실시하였다.

Table 1 Truing and Dressing Condition

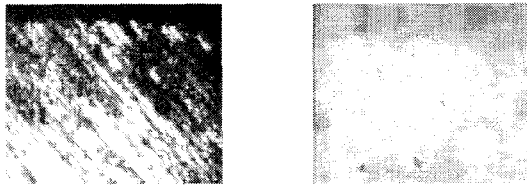
Truing Condition	
Peak current	1.0 A
Open voltage	150 V
Truing wheel	1000 rpm
Grinding wheel	3000 rpm
Dressing Condition	
Peak current	0.5 A
Open voltage	90 V
Grinding wheel	3000 rpm
Electrolytic gap	0.1 - 0.3 mm
Electrolytic fluid	solution type (50:1)

본 연구에서는 내식성, 기계적 강도, 고강성의 마이크로 공구제작과 미세 구멍가공을 목적으로 하여 공구의 소재는 초경(WC)으로 선택하여 마이크로핀을 가공하였다. 또한, 초경제질의 공구를 연마하는데 기존의 슷돌은 연마 입자의 탈락이 많기 때문에 연

마 입자의 탈락이 적은 주철, 코발트(cobalt)를 주성분으로 한 본드(bond)제와 연마입자를 소결한 메탈(metal)본드(bond)숫돌과 연마입자로서는 다이아몬드(diamond)를 사용하였다. ELID의 가공원리는 숫돌을 양극으로 하고 숫돌면에 음극의 전극을 설치하고, 극간을 약 0.1~0.3mm로 설정하였다. 극간의 고주파 직류 펄스 전압을 공급하고 숫돌의 금속 본드(bond)부분만을 선택적으로 제거하고, 효과적이면서 자동적으로 드레싱(dressing)을 하였다.

전해 드레싱(dressing)은 가공중에도 눈 찌부러짐이나 로딩(loading)에 의한 숫돌 날카로움의 저하를 억제하고, 효율이 높은 연삭작업을 할수 있는 특징이 있다.

Fig. 4는 투루잉후와 드레싱후의 숫돌 표면을 비전시스템으로 촬영한 사진이다. 숫돌의 투루잉 작업 후 숫돌의 표면은 방전 투루잉에 의해 숫돌의 전체가 평탄화한 모습을 볼수 있으며 전해 드레싱 작업 후 숫돌의 표면은 숫돌 본드제가 전기 분해 용출된 결합제가 일부 부도체화 되고 숫돌면에 퇴적하기 때문에 전기 분해 전류가 자동적으로 저하되며, 숫돌과 공작물 사이에 완충작용을 하는 절연피막을 형성하게 된다. 이 상태에서는 실제로 연삭 작업을 하면 숫돌면의 부도체 피막이 공작물 표면에 접촉하고 마찰에 의해 박리, 제거되고 동시에 연마 입자가 공작물을 연삭하고 연마 입자 마모는 최소화되어 다이아몬드 입자를 적절히 유지시켜 가공저항을 감소시킬수 있어 연삭숫돌의 마모를 저하시켜 일정한 크기의 공작물 가공이 가능하다. 투루잉시 가공조건은 Table 2에 나타내었다.



(a) after truing (b) after dressing
Fig. 4 Vision System image of surface of grinding wheel

Table 2 Experimental Condition

Workpiece material	WC (180 um)
Grinding Wheel mesh	# 4,000
Depth of cut	1 um
Rotation speed	3,000 rpm
feed rate	2,000 um/s
Grinding fluid	Solution type (50:1)

3. 실험결과

3.1 마이크로 공구 가공

마이크로 공구를 가공하기전에 숫돌의 투루잉과 드레싱과정을 우선 수행하고난 뒤 원형 형상 단면의 마이크로 공구를 연삭 가공 하였다. 마이크로 공구의 형상은 컴퓨터에 의해 NC-Unit의 원형 형상프로그램을 이용하여 17um이하의 원형 단면 치수를 가지는 초경 합금 마이크로 공구로 가공하고자 하였다.

실험을 통하여 가공되어진 마이크로 공구의 진직도와 가공 정도의 결과를 측정하기 위하여 Confocal Laser Scan Measuring& Analyzer System 장비와 SEM을 이용하여 측정하였다.

Fig. 5는 33um의 사각형상을 가공하여 레이저 스캔을 이용하여 측정한 사진이다. 또한, 측정 결과는 Table 3에 나타내었다.



Fig. 5 Laser Scan image of Micro tool

Table 3 Dimensions of Micro Tool

	X dimensions (um)	Y dimensions (um)	Surface roughness (Rz(um))	Aspect ratio
1	33.3707	33.2216	18.7554	5
2	33.6272	33.3768	21.2093	
3	35.164	35.0845	23.5416	
4	36.7032	36.6369	17.756	
5	38.0549	38.034	22.3151	

측정결과를 보면 끝단의 측정값은 가공설정값과 유사하게 가공되었지만 하단으로 내려갈수록 설정값보다 크게 나타났다. 이것은 숫돌의 끝단 형상이 곡면의 형상이어서 이런 결과가 나타난 것으로 보인다. 또한, 표면 거칠기는 평균 20nm의 거칠기를 나타냈다.

표면 거칠기의 값이 좋게 나타난 것은 숫돌의 투루잉시 절입속도가 빨라서 이러한 표면 거칠기의 결과가 나타난 것으로 보인다.

Fig. 6은 마이크로 복합가공기에서 최소한의 공구를 가공한 것을 SEM으로 나타낸 것이다. 공구의 크기는 15um크기의 공구를 가공하였다.

본 실험에서 15 μ m이하의 공구를 가공시 세장비는 5대1이상에서 가공하였을 경우 공구가 슷돌에 의해 가공되면서 탄성변형을 일으켜 끝단 부위가 손실되었다.

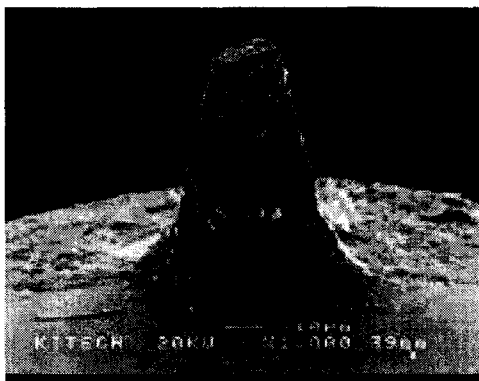
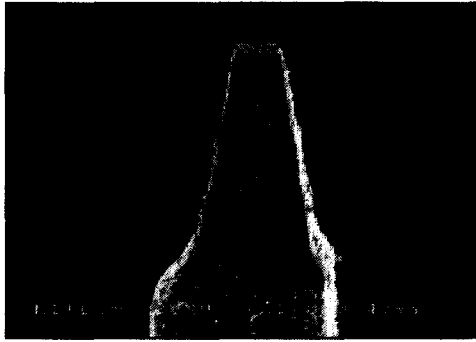


Fig. 6 SEM image of Micro tool

3.2 미세 구멍 가공실험

3.2.1 실험장치

본 실험에 사용된 초음파 가공기는 회전진동자 및 냉각장치, 이송 및 제어장치, 등으로 구성 되어 있는데 Fig. 7에 제작된 초음파 가공기의 구성도를 나타내었다.

회전 진동자를 채택하여 단순한 초음파 가공뿐만 아니라 공구의 회전에 의한 복합 가공이 가능하도록 하였으며 제어기(Controller)는 PC를 기반으로 하여 모션보드(Motion Board)를 이용하여 3축 제어를 하였으며, 이송 정밀도를 위하여 스텝핑 모터(Stepping Motor)를 이용하였으며 Z축에는 백래쉬가 없는 볼스크류(리드 5mm)와 하모닉 드라이버를 이용하여 축의 이송을 1 μ m로 정밀 구동이 가능하도록 하였다. 또한 LM Guide를 이용하여 이송 중 발생하는 진동 등의 외란을 최소화하였으며 3축에 리니어 스케일을 설치하여 페루프로 위치제어를 하였다. 초음파 가공은 초음파 발전부, 진동자, 공구혼과 분해능이 0.01g인 로드셀을 사용하여 일정한 가압력을 제어하면서 실험하였으며, 진동자의 냉각을 압축공기를 진동자

에 공급하였다.

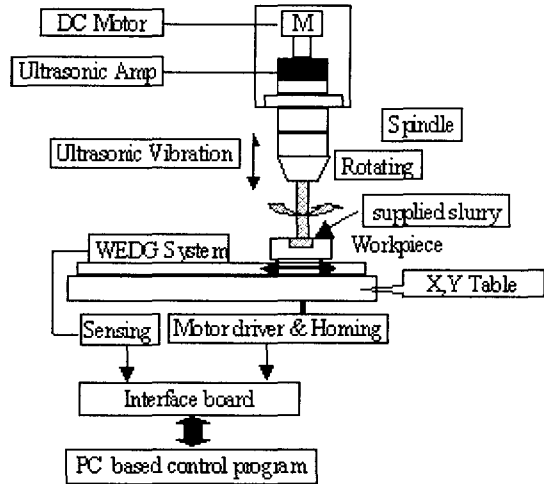


Fig. 7 Schematic diagram of the USM system

3.2.2 실험방법 및 결과

본 실험에 사용된 초음파 진동자는 압전 진동자와 혼이 볼트로 체결된 볼트 랑지방형 진동자(BLT)를 사용하였으며 공구는 항상 동일한 조건을 만족할 수 있도록 필요할 때마다 공구의 교환이 가능한 콜릿형의 진동자 혼을 제작하였다. 회전 진동자의 공진 주파수는 40kHz이고 출력 700W인 티타늄 진동자를 사용하여 실험하였으며 공구의 재질로는 텅스텐 카바이드를 사용하였다. 가공물로는 순도가 99%인 세라믹스, 지립은 SiC와 다이아몬드를 이용하였다. 가공방법은 연속 가압법을 사용하였다. 초음파 가공 실험조건을 Table. 3에 나타내었다.

Table. 3 Experiment Conditions

Machine spec	Precision ultrasonic machine	
	Stroke	140×120×100
Feed	Step motor	
Ultrasonic unit	Frequency	40kHz, 700W
	Amplitude	2 μ m
	Cooling	Air cooling
Abrasive	Diamond 0.1 μ m	
Workpiece	Alumina ceramics(Al ₂ O ₃):0.3mm	
slurry	50wt % (water : abrasive)	
Machining Conditions	Tool dia.	23 μ m
	Pressure	250gf/mm ²

Fig. 8은 초음파 진동을 이용하여 마이크로 공구로 미세 구멍을 가공한 것을 SEM을 이용하여 나타낸 것이다.

취성 재료의 관통 가공시 가공 끝면 부위에서의

취성 파괴현상이 나타나는데 이러한 현상은 초음파 가공이 진동충격력에 의해 가공이 이루어지기 때문에 발생하는 것이다. 이와 같이 초음파 가공에 영향을 미치는 인자는 많이 있으므로 가공정밀도를 향상시키기 위해서는 가공 조건의 선정이 중요하다. 세라믹스와 같은 취성재료의 관통 가공시 가공 끝면에서 취성 파괴현상이 발생하는데 이런 취성 파괴 현상은 가공 결함의 원인 이므로 발생하지 않도록 하여야 한다. 취성 파괴 현상을 방지하기 위해서는 공작물 지지용 고정판과 공작물면이 완전히 밀착해야 된다. 일반적으로 초음파 가공의 경우 aspect ratio가 5이상의 경우 지립의 순환이 원활하지 못하여 깊은 홀 가공의 경우 일정 깊이 이상 가공이 이루어지면 더 이상 가공이 이루어지지 않고 공구의 마모가 심하게 발생하게 된다. 앞의 실험결과에서 깊은 홀가공, 관통 가공시 가공액의 원활한 유동성이 점차 둔화되어지기 때문에 일정 임계점에 이르게 되면 가공부의 슬러리의 순환이 불가능하게 되어지는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 가공액의 흐름을 일원화 하고 일정한 흡입력의 발생을 일으켜 공구를 통한 가공액 배출을 꾀하는 방법이 필요하다.

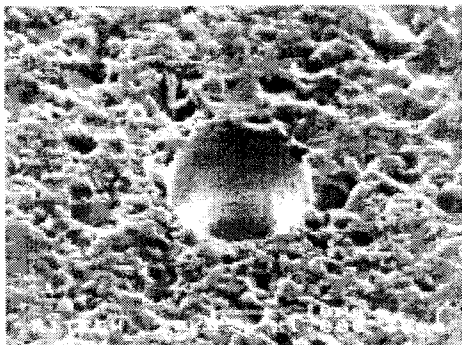


Fig. 8 Micro-hole Al₂O₃ Ceramics
(Diamond 0.1 μ m, 50 wt%, depth:200 μ m, aspect ratio:7)

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 공구의 제작을 위하여 슛들의 전해 연속 드레싱(Electrolytic In-process Dressing)시스템을 이용하여 30 μ m이하의 원형단면형상과 사각형 단면을 가지는 마이크로 공구를 연삭에 의한 가공으로 하였으며 레이저 스캔을 이용한 측정을 통하여 단면의 크기와 표면 거칠기를 얻을수 있었다. 본 실험에서는 20 μ m이하의 원형을 공구를 가공하는 경우 세장비가 5대1이상이 되면 공구의 탄성변형에 의하여 공구 끝단이 손실되는 것을 알수 있었다. 20 μ m이하의 공구를 얻고자 할때 세장비를 줄여 가공하

면 진직도가 높고 표면이 깨끗한 형상을 가지는 마이크로 공구를 제작할수 있다는 것을 알수 있었다. 또한, 초음파를 이용하여 제작되어진 마이크로 공구로 마이크로 구멍을 가공하였다.

이러한 결과를 토대로 하여 좀더 표면품위가 좋은 마이크로 공구제작과 미세 구멍가공에 적용될 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 大森 整, 守安 精, 山形 豊, 池 浩, 伊藤 伸英, 森田晋也, 牧野内 昭武, 安齋正博, 樋口俊郎, 増沢隆久"マイクロメカニカルアプリケーション技術と応用," www. micro. ne. jp
2. 이현우, 최현중, 이석우, 최제영, 정해도., "전해 연속 드레싱을 이용한 마이크로 공구제작" 한국정밀공학회지, 제19권, 제12호, pp. 171-178, 2002. 12.
3. Y. Uehara, H. Ohmori, Y. Yamagata, S. Moriyasu, and W. Lin., "Grinding Characteristics of Micro Tool by Desk Top 3-Axis Machining With ELID System," ISAAT, Vol. 4, pp.105-110, 2001.
4. Lee, S. W., Choi, H. Z., and Lee, B. G., "A Study on Micro Ultrasonic Machining using Ultrasonic Vibrator," ISAAT, Vol. 4, pp. 357-363, 2001.
5. B. G. Lee, H. Z. Choi, and S. W. Lee., "A Study on Micro-hole machining for Ceramics Using Ultrasonic vibration," Spring Conference of KSPE, pp. 988-992, 2002.
6. N.Itoh and H. Ohmori, "Mirror Surface Finishing on Double Sided Lapping Machine with ELID," International conference and general meeting of the european society for precision engineering and nano-technology, pp. 329, 1990.
7. B. Ghahramani, Z. Y. wang., "Precision ultrasonic machining process: a case study of stress anslsis of ceramic(Al₂O₃)", CIRP41, pp. 1189-1208, 2001.