

미세심공드릴 가공에 있어서 Be-Cu 재료의 절삭조건에 관한 연구 A Study on Cutting Conditions of the Be-Cu Material in Micro Deep Hole Drilling Operation

김희남* 유숙철* 이형원* 이원영** 이종화*** 이인수*** 박중일*** 김진환***
명지대학교 기계공학과* 경기지방 중소기업청** 윤성전자(주)***

1. 서론

절삭 가공 중에서 구멍 가공은 그 비중이 약 30%~35%에 달할 정도로 상당히 중요한 공정중의 한 부분이라고 할 수 있다. 특히, 최근 들어서는 초소형화된 전자제품, 광섬유 커넥터, 의료용 광학기기, 우주항공용 전자부품 그리고 컴퓨터 산업에 있어 프린트 기판, IC용 Mask 등의 분야로 확대·적용됨으로써 이에 발 맞추어 미세심공 가공기술이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 하지만 미세심공 가공기술을 실현함에 있어서는 여러 가지 문제점들이 따른다. 그것은 워낙 작은 직경과 높은 세장비로 인해서 드릴의 강성이 현저하게 떨어지며, 또 절삭유류의 공급이 어려우므로 칩과 열 배출에 어려움이 따른다. 그러므로 미세심공 가공기술의 실현을 위해서는 이러한 문제점들을 극복해야 하며 또한 최적의 절삭 조건을 찾아내는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 미세심공 가공기술은 최근들어 많은 관심의 대상이 되고 있으며 국내에서도 이 분야에 대해 조금씩 눈을 떠가고 있다. 하지만 외국에서는 실지로 $\phi 0.01\text{mm}$ 까지의 미세구멍 가공이 실용화된 단계에 있는 반면 국내에서의 미세심공 가공기술은 $\phi 0.35\text{mm} \times l 3.0\text{mm}$ 의 실현도 제대로 이루어지지 않는 단계임을 부인할 수 없다. 본 연구에서는 $d 0.35\text{mm} \times l 2 5.3\text{mm}$ 의 미세 드릴을 사용하여 직경 2.0mm의 Be-Cu 재료를 CNC 선반에서 여러 가지의 절삭조건을 주어 가며 가공하였으며, 각 절삭조건에 따른 구멍 내면의 표면 상태를 관찰·비교함으로써 최적의 절삭 조건을 찾아내고자 하였다. 이 실험에서 재료로 쓰이고 있는

Be-Cu 재료는 주로 커넥터 핀등에 사용되고 있다. 특히 주목할 것은 커넥터 핀 제작에 있어서 종래의 수직 드릴링 가공은 생산 효율이 떨어지고 한계가 있지만 여기서 개조하여 시도하는 CNC 선반상에서의 수평 드릴링 가공은 이런 문제점들을 극복하고 연속·다량으로 커넥터 핀을 생산해 낼 수 있다는 점에 있어 상당히 가치가 있다고 생각된다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2-1 실험 장치

미세심공드릴 가공시 사용된 CNC 선반은 SPN을 개조하여 사용하였다. 가공후 시편의 표면거칠기는 Rodenstock Metrology RM600을 사용하여 계측하였다. Photo. 1 은 미세심공 가공시 사용된 실험장치이고, Photo. 2는 표면거칠기 측정장치를 나타낸 것이다.

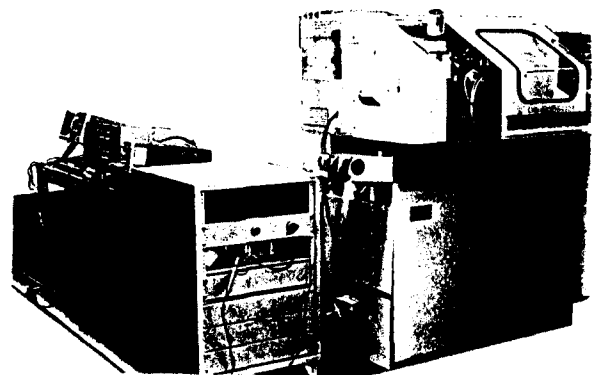


Photo. 1 Measuring system for cutting resistance



Photo. 2 Surface roughness tester

2-2 사용시편 및 공구

① 시편

① 재질; 사용된 시편의 주요 화학성분과 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of Be-Cu material

Cu	Be	Ni	Co	Fe	Tensile strength (N/mm ²)
97.4%	1.83%	0.04%	0.20%	0.05%	799

② 시편의 형상과 치수;

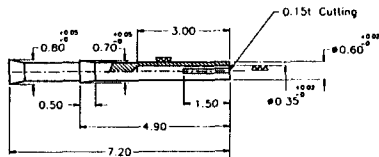


Fig. 1 Test specimen

② 드릴 (ML-Drill)

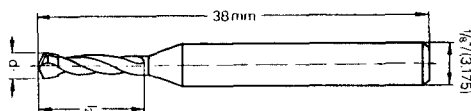


Fig. 2 Geometry of micro drill

Table 2 Dimension of micro drill

ML-Drill diameter(d_1)	0.35mm
Overall length(l)	38mm
Flute length(l_2)	5.3mm
Shank(ϕ)	3.175mm
Material	TC K10
Point angle	128°

2-3 실험방법

본 실험에서 절삭속도는 27.49m/min (25,000 rpm), 32.99m/min(30,000rpm), 38.48m/min(35,000 rpm), 43.98m/min(40,000rpm), 49.48m/min(45,000 rpm)의 5가지와 이송속도는 50mm/min, 60mm/min, 70mm/min의 3가지, 스텝 유형은 A형타입으로 0.05mm×6회, B형타입으로 0.1mm×30회, C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회의 3가지 조건을 주면서 각 절삭 조건에 대하여 가공후 가공된 시험편 내면의 표면거칠기를 측정 후, 상태를 관찰·비교하여 최적의 절삭 조건을 찾아 내었다. 본 실험에 사용된 절삭조건을 Table 3에 표시하였다.

Table 3 Working conditions

Cutting speed(m/min)	Feed rate(mm/min)	Step feed(Type)
27.49(25,000rpm)	50(0.00125mm/min) 60(0.0015mm/min)	B C
32.99(30,000rpm)		
38.48(35,000rpm)		
43.98(40,000rpm)		
49.48(45,000rpm)		
32.99(30,000rpm)	50(0.00125mm/min) 60(0.0015mm/min)	A C
43.98(40,000rpm)		
(Step feed)		
A형: 0.05mm×6회		
B형: 0.1mm×30회		
C형: 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회		

3. 실험결과 및 고찰

3-1 절삭속도의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향

절삭속도의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향에 대한 실험에 있어서 드릴 공구의 형상은 Be-Cu재료 절삭시 표준이라 볼 수 있는 Fig. 1과 같은 드릴을 선정하였다.

또한 스텝이송을 B형타입으로 0.1mm×30회와 C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회, 이송속도를 50mm/min 및 60mm/min로 주었을 때 절삭속도를 27.49m/min(25,000rpm), 32.99m/min(30,000rpm), 38.48m/min(35,000rpm), 43.98m/min(40,000rpm), 49.48m/min(45,000rpm)로 변화시켜 가공한 후 가공된 표면거칠기를 조사하였다. 이 때 절삭속도와 가공된 표면 거칠기와의 관계는 Fig. 3~Fig. 6과 같다.

Fig. 3은 절삭속도를 27.49m/min, 32.99m/min, 38.48m/min, 43.98m/min, 49.48m/min, 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 스텝이송을 B형타입으로 0.1mm×30회로 주었을 때의 그림으로, 27.49m/min에서 38.48m/min까지 표면거칠기는 전반적으로 하향 추세를 보이다가 43.98m/min와 49.48m/min에서는 표면 거칠기 값이 상향 추세를 보이고 있음을 알 수 있었다. 그림에서 구멍 가공된 내면의 표면 거칠기가 가장 좋았던 절삭 조건은 절삭속도가 38.48m/min, 이송속도가 60mm/min일 때임을 알 수 있었다.

Fig. 4는 절삭속도가 전항과 같으며 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 스텝 이송을 C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 가공된 내면의 표면거칠기가 가장 좋았던 절삭조건은 절삭속도가 38.48m/min, 이송속도가 60mm/min일 때임을 알 수 있었다.

Fig. 5는 절삭속도가 전항과 같으며, 이송속도를 50mm/min, 스텝이송을 B형타입으로 0.1mm×30회와 C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 이송스텝에 있어 B형 타입이 C형 타입보다 전반적으로 0.15 Ra값 만큼의 간격을 유지하며 높게 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 가장 좋았던 표

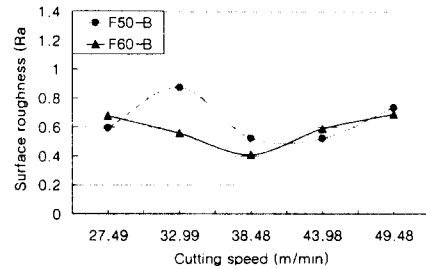


Fig. 3 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=60,60mm/min, Step feed =Type B)

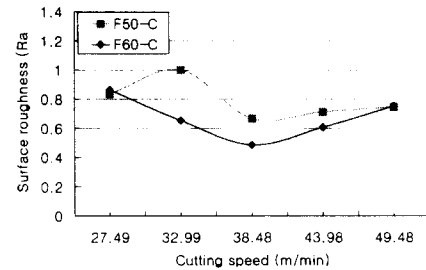


Fig. 4 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=50,60mm/min, Step feed =Type C)

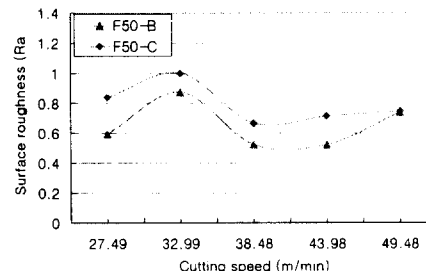


Fig. 5 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=50mm/min, Step feed =Type B,C)

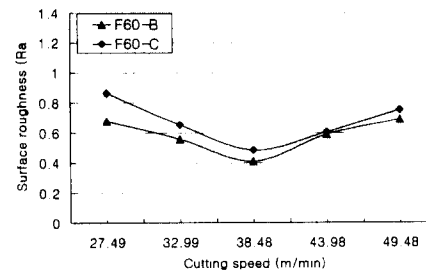


Fig. 6 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=60mm/min, Step feed =Type B,C)

면거칠기 값은 절삭속도가 43.98m/min에서 0.523 Ra값을 얻을 수 있었다. 그리고 이송스텝이 C형 타입일 때 가장 좋았던 표면거칠기 값은 절삭속도가 32.99m/min에서 0.667 Ra이었으며, 이송스텝이 C형타입일 때가 전반적으로 표면거칠기 값

이 B형타입일 때 보다 좋았음을 알 수 있었다. 이는 원활한 칩의 배출이 표면거칠기를 양호하게 하여 준 이유로 볼 수 있다.

Fig. 6은 절삭속도가 전항과 같으며 이송속도를 60mm/min와 스텝이송을 B형타입으로 0.1mm×30회, C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 이송스텝이 B형 타입일 때 가장 좋았던 표면 거칠기 값은 0.41 Ra이며 이송스텝이 C형 타입일 때 가장 좋았던 표면거칠기 값은 0.485 Ra로 이때도 표면 거칠기 값은 B형 타입이 전반적으로 C형 타입일 때 보다 좋았음을 알 수 있었다. 이는 스텝 이송의 변화가 칩 배출을 원활히 하여 표면 거칠기를 양호하게 하여 준 것으로 보인다.

3-2 이송속도의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향

전항과 같은 미세심공 드릴을 사용하여 스텝 이송을 A형 타입으로 0.05mm×60회와 C형 타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회, 절삭속도를 32.99m/min(30,000rpm)와 43.98m/min(40,000rpm)으로 주었을 때 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 70mm/min으로 변화시키면서 실험하였으며, 이때의 가공된 표면 거칠기와 이송속도의 관계는 Fig. 7~Fig. 10에 표시한 바와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 표면거칠기는 본 실험에서 주어진 조건에서 이송량이 증가할수록 양호하였다.

Fig. 7은 절삭속도를 32.99m/min와 43.98m/min, 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 70mm/min, 스텝이송을 A형타입으로 0.05mm×60회로 주었을 때의 그림으로, 이송속도가 증가할수록 표면거칠기는 좋아짐을 알 수 있었다. 전항과 같이 절삭속도의 변화시 43.98m/min일때가 32.99m/min일 때 보다 가공된 내면의 표면 거칠기가 양호함을 알 수 있었다. 이는 원활한 칩제거가 표면거칠기를 양호하게 하여 준 것으로 사료된다.

Fig. 8은 이송 속도가 전항과 같으며, 절삭속도를 32.99m/min와43.98m/min, 스텝이송을 C형 타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1

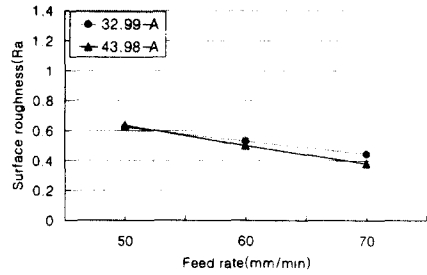


Fig.7 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=32.99,43.98m/min, Step feed=Type A)

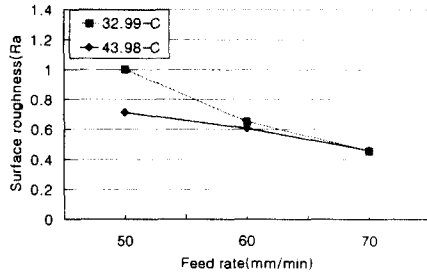


Fig. 8 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=32.99,43.98m/min, Step feed=Type C)

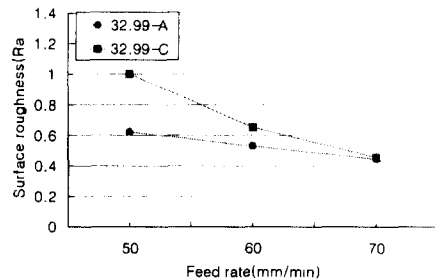


Fig.9 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=32.99m/min, Step feed=Type A,C)

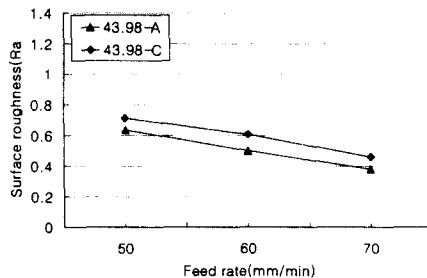


Fig.10 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=43.98rpm, Step feed=Type A,C)

mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 이송속도가 50mm/min일 때 절삭속도의 값은 32.99m/min와 43.98m/min간에 0.288 Ra의 차를 보이다가 이송 속도 70mm/min일 때는 표면거칠기 값이 일치됨을 알 수 있었다.

Fig. 9는 이송속도가 전항과 같으며 절삭속도를 32.99m/min, 스텝이송을 A형타입으로 0.5mm/min×60회와 C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, A형 타입이 C형 타입보다 가공된 내면의 표면 거칠기가 전반적으로 0.141 Ra만큼 더 양호함을 알 수 있었다.

Fig. 10은 이송속도가 전항과 같으며 절삭속도를 43.98m/min, 스텝 이송을 A형타입으로 0.5mm/min×60회와 C형타입으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, A형 타입이 C형 타입보다 가공된 내면의 표면거칠기가 전반적으로 0.09 Ra 만큼 더 좋았음을 알 수 있었다. 이는 칩제거가 원활함에서 비롯되었으리라 사료된다.

3-3 그 외에 표면거칠기에 영향을 미치는 인자들

① 단계절입이송

구멍 가공중 단계절입 이송은 칩배출, 공작물의 냉각등에 효과를 가져오므로 미세심공 가공에서는 필수적이다. 단계이송 방식의 싸이클 구성은 일정만큼 절입 이송한 다음, 절입 원점으로 복귀하고 다시 절입을 시작하는 다단계의 과정을 구멍가공된 시험편 단면에서 사진으로 볼 수 있다. Photo. 3은 스텝이송이 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회인 C형타입으로 주었을 때의 사진으로 내면 상태가 다단계로 이루어져 있음을 볼 수 있다.

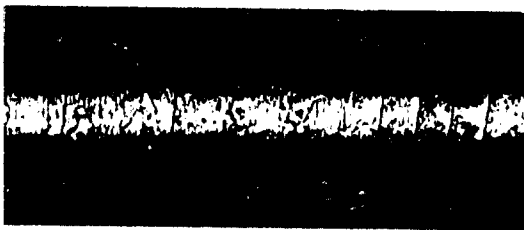


Photo. 3 Step feed

② 선단각

칩배출을 위해 후퇴할 경우에는 드릴 Flute 부분의 잔류칩이 구멍 내면을 손상시키므로 가끔 선단각이 큰 드릴을 사용, 칩의 크기를 작게 하여 원활한 칩을 배출함으로 가공물의 정도 및 표면 거칠기를 향상시킬 수 있으리라 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 Be-Cu재료를 피삭재로 하여 미세심공 가공시 절삭조건 변화가 표면 거칠기에 미치는 영향을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 가공 구멍 내면의 표면 거칠기에 영향을 미치는 주요 요인은 절삭속도, 이송속도, 스텝이송에 지배됨을 알 수 있었다.
- ② 절삭속도의 변화가 가공 구멍 내면의 표면 거칠기에 미치는 영향에서는 절삭속도는 38.48m/min, 이송속도는 60mm/min, 이송스텝은 B형타입으로 0.1mm×30회로 절삭 조건을 주었을 때 0.41 Ra로 가장 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있었다.
- ③ 이송속도의 변화가 가공 구멍 내면의 표면 거칠기에 미치는 영향에서는 이송속도가 70mm/min, 절삭속도가 43.9m/min, 스텝 이송은 A형타입으로 0.05mm×60회로 절삭조건을 주었을 때 0.38 Ra로 가장 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있었다. 그리고 일반적으로 이송속도가 높게 되면 표면 거칠기 값은 이론적으로 크게 되는 경향이 있으나 Be-Cu재료의 절삭시 거의 일정한 거칠기를 얻을 수 있었다.
- ④ 스텝이송은 원활한 칩 배출을 주므로 미세심공가공시 중요한 변수로 작용하리라 본다.

본 연구는 중소기업청에서 시행한 “중소기업 기술혁신 개발사업”의 기술개발 지원에 의하여 연구되었습.

5. 참고문헌

1. 한진욱, 원종식, 이응숙, 정윤교; “스텝이송방식을 이용한 미세구멍가공에 관한 실험적 연구”, 한국정밀공학회지, 제13권, 제12호, pp. 46-52, 1996
2. 정만실, 조동우; “미세구멍 가공의 생산성 향상을 위한 상태식별 및 제어”, 한국정밀공학회지 제15권, 제1호, pp. 117-129, 1998
3. 박용길, 송지복, 이재경; “미세 드릴 가공에서 공구 수명에 관한 연구”, 한국정밀공학회 ‘98년도 춘계학술대회논문집, pp. 202-205
4. R. J. Furness, A. Galip Ulsoy, C. L. Wu; “Speed, and Torque Controllers for Drilling”; Journal of Engineering for Industry, Trans.ASME, pp.2-9, Vol. 118, February 1996
5. R. J. Furness, C. L. Wu, A. G. Ulsoy; “Statistical Analysis of the Effects of Feed, Speed, and Wear on Hole Quality in Drilling”, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Trans.ASME, pp.367-375, Vol. 118, August 1996
6. Tetsutaro Hoshi, Hualin Zao; “Study of High Performance Drill Geometry”, CIRP Annals, 1989
7. S. J. Lee, K.F. Eman, S.M. Wu; “An Analysis of the Drill Wandering Motion”, Journal of Engineering for Industry, Trans.ASME, pp.297-305, Vol. 109, November 1987
8. Montohisa Ono.; “Study on micro drill machining”, Trans. JSPE, 48권 2호, pp.98-104, 1992