

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

김 희남* 유 숙철* 이 형원* 이 원영** 이 종화*** 이 인수***
H.N. Kim*, Y.S. Yoo*, H.W. Lee*, W.Y. Lee**, J.H. Lee***, I.S. Lee***

Abstract

Recently micro deep hole drilling is required in the whole industry. However, micro deep hole drilling has still much difficulty because of the lack of drill rigidity and the interruption of chip. We treated a micro deep hole(diameter 0.35mm, depth 3mm) used in a connector jack pin. Therefore, a surface roughness is very important. In this paper, we studied on the variation of the surface roughness for cutting conditions during micro deep hole drilling of Be-Cu material. Most of all, we tried to drill on CNC for the realization of automatization.

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 초소형화 된 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 종횡비(Aspect ratio)로 인해서 드릴의 강성이 현저하게 떨어지며, 또 절삭유의 공급이 어려우므로 칩과 열 배출에 어려움이 따른다.^{[1][2][3][4]} 그러므로 미세심공 가공기술의 실현을 위해서는 이러한 문제점들을 극복해야 하며 또한 최적의 절삭 조건을 찾아내는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.^{[5][6][7]} 미세심공 가공기술은 최근들어 많은 관심의 대상이 되고 있으며 국내에서도 이 분야에 대해 조금씩 눈을 떠가고 있다. 하지만 직경 0.35mm, 깊이 3.0mm의 미세구멍의 가공기술이 없어 이를 요하는 초소형 커넥터 잭핀

*명지대학교 **경기지방 중소기업청 ***윤성전자(주)

을 아직도 외국에서 고가로 수입하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 초소형 커넥터 잭 핀의 국산화를 위해 직경 0.35mm, 깊이 3.0mm의 미세심공 가공기술에 관하여 다루었다. 붕으로 된 Be-Cu재료를 CNC선반에서 여러 가지의 절삭조건을 주어 가며 가공하였으며, 각 절삭조건에 따른 구멍 내면의 표면 상태를 관찰·비교함으로써 최적의 절삭 조건을 찾고자 하였다. 특히 본 연구에서는 커넥터 잭 핀의 연속·다량 생산을 위해 Be-Cu재료의 자동이송 공급이 가능한 CNC선반에서 수평 드릴링 가공을 시도하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서는 한화기계의 SPN11(D) CNC선반을 사용하였다. SPN11(D) CNC선반은 산업현장에서 많이 사용되고 있는 선반으로서 긴 붕으로 된 가공재료를 자동 이송으로 공급해 주므로 커넥터 잭 핀의 연속적인 생산이 가능하다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 선반이다.

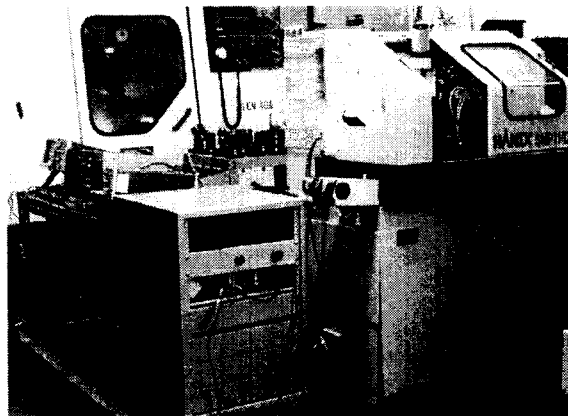


Fig. 1 CNC lathe

미세깊은구멍 드릴가공은 드릴의 직경이 작기 때문에 일정한 속도를 얻기 위해서는 그 만큼 고속의 회전이 필요하다. 고속의 회전을 얻기 위해 CNC선반의 공구 축에 스위스 SPINTEX사의 VM17형 고속회전모터를 장착하였다. 이 고속회전 모터는 0.1Nm의 토크 값을 가지며 최저 회전속도 15,000rpm부터 최고 회전속도 54,000rpm까지 구동될 수 있다. 고속 회전으로 인해 베어링에 발생하는 고온의 열은 압축 공기로 냉각되어진다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 고속회전모터를 보여준다. 가공 후 시편의 표면 거칠기는 비접촉 광학 방식인 Rodenstock Metrology RM600을 사용하여 계측하였다.

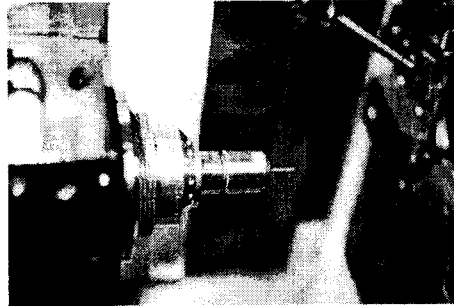


Fig. 2 High frequency spindle motor

Fig. 3은 표면거칠기 측정장치를 나타낸 것이다.

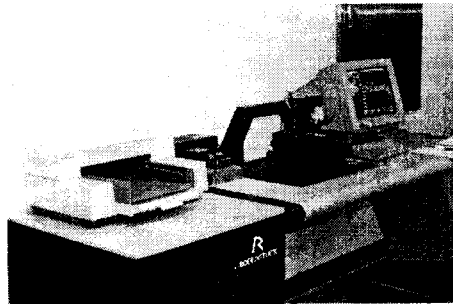


Fig. 3 Surface roughness tester

2.2 사용시편 및 공구

2.2.1 시편

(1) 형상과 치수;

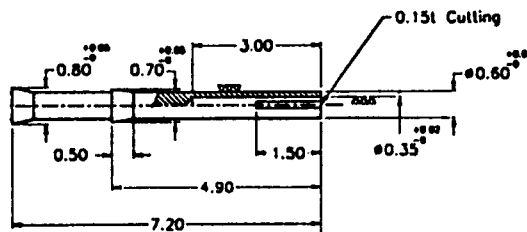


Fig. 4 Specimen(Connector jack pin)

(2) 재질; 사용된 시편의 주요 화학성분과 기계적 성질은 Table 1과 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

2.2.2 드릴

본 실험에 사용한 드릴은 PCB기판 전용 드릴로서 재질이 솔리드 텅스텐 카바이드 (Solid tungsten carbide)로 이루어진 트위스트 피벗 (Twist pivot)형의 드릴이다. 이 드릴은 피벗형으로 생크부의 직경이 크므로 스트레이트형의 드릴과는 달리 공구 칩에 물리기가 수월할 뿐만 아니라 레이디얼 강성이 커 공구 수명이 현저하게 증가하는 장점이 있다. 하지만 소결상태로 가공되었기 때문에 큰 취성으로 인해 드릴이 쉽게 파단될 수 있는 단점도 가지고 있다. 또한 본 실험에서 사용한 드릴은 드릴 가공시 구멍 내벽과의 마찰을 줄이고 칩의 막힘 현상을 줄이기 위하여 드릴의 플루트 부의 직경을 감소시킨 ML형의 드릴이다. Fig. 5는 본 실험에서 사용한 드릴의 형상이며 Table 2는 그 재원이다.

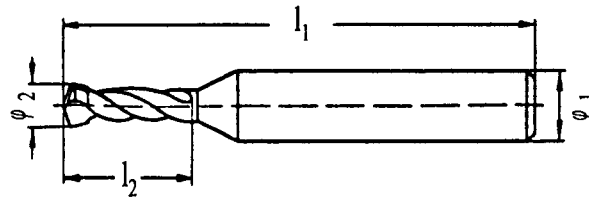


Fig. 5 Shape and dimension of a micro drill

Table 1 Dimension of micro drill

Shank(ϕ_1)	3.175mm
ML-Drill diameter(ϕ_2)	0.35mm
Overall length(l_1)	38mm
Flute length(l_2)	5.3mm
Material	TC K10
Point angle	128°

2.3 실험방법

본 실험에서 절삭속도는 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)의 5가지와 이송속도는 50mm/min, 60mm/min, 70mm/min의 3가지, 스텝이송 유형은 A형으로 0.05mm×60회, B형으로 0.1mm×30회, C형으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회의 3가지 조건을 주면서 각 절삭 조건에 대하여 가공 후 가공된 시험편 내면의 표면거칠기를 측정 후, 상태를 관찰·비교하여 최적의 절삭 조건을 찾아내었다. 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 60	B
32.99(30,000rpm)		
38.48(35,000rpm)		C
43.98(40,000rpm)		
49.48(45,000rpm)		
32.99(30,000rpm)	50	A
43.98(40,000rpm)	60	C
	70	
(Step feed) A형: 0.05mm×60회 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 이송속도를 50mm/min 및 60mm/min, 스텝이송을 B형으로 0.1mm×30회와 C형으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 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 내면의 표면거칠기를 조사하였다. 이 때 절삭속도와 가공된 내면의 표면 거칠기와의 관계는 Fig. 6~Fig. 9와 같다.

Fig. 6은 절삭속도를 27.49m/min, 32.99m/min, 38.48m/min, 43.98m/min, 49.48m/min, 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 스텝이송을 B형으로 0.1mm×30회로 주었을 때의 그림으로, 27.49m/min에서 38.48m/min까지 표면거칠기는 전반적으로 좋아지다가 43.98m/min와 49.48m/min로 가면서 나빠지고 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. 7은 절삭속도가 전항과 같으며 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 스텝 이송을 C형으로 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. 8은 절삭속도가 전항과 같으며, 이송속도를 50mm/min, 스텝이송을 B형으로 0.1mm×30회와 C형으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 스텝이송에 있어 B형이 C형보다 전반적으로 0.15 Ra값 만큼의 간격을 유지하며 표면거칠기가 좋은 것을 볼 수 있었으며 가장 좋았던 표면거칠기 값은 절삭속도가 43.98m/min에서 0.523 Ra값을 얻을 수 있었다. 그리고 스텝이송이 C형일 때 가장 좋았던 표면거칠기 값은 절삭속도가 38.48m/min에서 0.667 Ra이었음을 알 수 있었다.

Fig. 9는 절삭속도가 전항과 같으며 이송속도를 60mm/min와 스텝이송을 B형으로 0.1 mm×30회, C형으로 0.15mm×6회 + 0.12 mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 스텝이송이 B형일 때 가장 좋았던 표면 거칠기 값은 0.41 Ra이며 스텝이송이 C형일 때 가장 좋았던 표면거칠기 값은 0.485 Ra이었으며 이때도 표면 거칠기는 B형이 전반적으로 C형일 때 보다 좋았음을 알 수 있었다. 이는 스텝 이송의 변화가 칩 배출을 원활히 하여 표면 거칠기를 양호하게 하여 준 것으로 보인다.

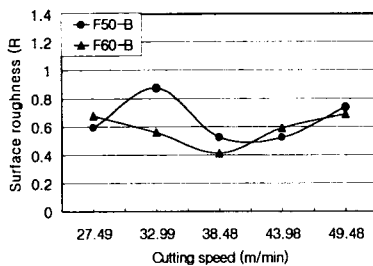


Fig. 6 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=60,60mm/min, Step feed =Type B)

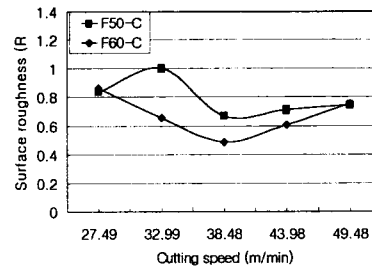


Fig. 7 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=60,60mm/min, Step feed =Type C)

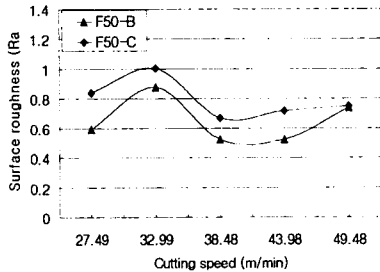


Fig. 8 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=60mm/min, Step feed =type B,C)

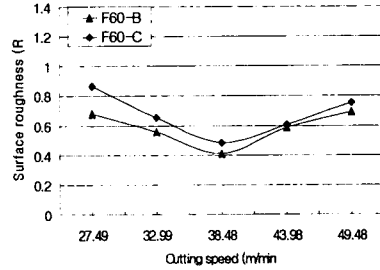


Fig. 9 Cutting speed vs. Surface roughness (Feed rate=60mm/min, Step feed =type B,C)

3.2 이송속도의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향

스텝 이송을 A형으로 0.05mm×60회와 C형으로 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, 70 mm/min으로 변화시키면서 실험하였으며, 이때의 가공된 표면 거칠기와 이송속도의 관계는 Fig. 10~Fig. 13 에 표시한 바와 같다.

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

Fig. 10은 절삭속도를 32.99m/min와 43.98m/min, 이송속도를 50mm/min, 60mm/min, 70mm/min, 스텝이송을 A형으로 0.05mm×60회로 주었을 때의 그림으로, 이송속도가 증가할수록 표면거칠기는 좋아짐을 알 수 있었다. 전향과 같이 절삭속도의 변화시 43.98m/min일 때가 32.99m/min일 때 보다 가공된 내면의 표면 거칠기가 양호함을 알 수 있었다. 이는 원활한 칩 배출이 표면거칠기를 양호하게 하여 준 것으로 사료된다.

Fig. 11은 이송 속도가 전향과 같으며, 절삭속도를 32.99m/min와 43.98m/min, 스텝 이송을 C형으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, 이송속도가 50mm/min일 때 절삭속도가 32.99m/min와 43.98m/min간에 0.288 Ra의 값 차를 보이다가 이송속도 70mm/min일 때는 표면거칠기 값이 일치됨을 알 수 있었다.

Fig. 12는 이송속도가 전향과 같으며 절삭속도를 32.99m/min, 스텝이송을 A형으로 0.5mm/min×60회와 C형으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, A형이 C형보다 가공된 내면의 표면 거칠기가 전반적으로 0.141 Ra만큼 더 양호함을 알 수 있었다.

Fig. 13은 이송속도가 전향과 같으며 절삭속도를 43.98m/min, 스텝 이송을 A형으로 0.5mm/min×60회와 C형으로 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회로 주었을 때의 그림으로, A형이 C형보다 가공된 내면의 표면거칠기가 전반적으로 0.09 Ra의 값 차이를 가지며 더 좋았음을 알 수 있었다. 이는 칩 배출이 원활함에서 비롯되었으리라

사료된다.

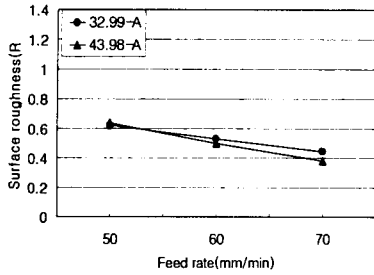


Fig.10 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=32.99,43.98m/min, Step feed=Type A)

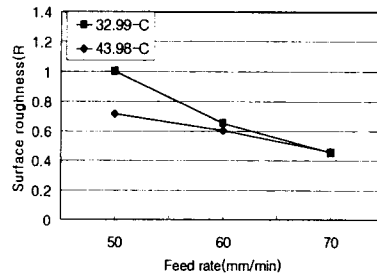


Fig.11 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=32.99,43.98m/min, Step feed=Type C)

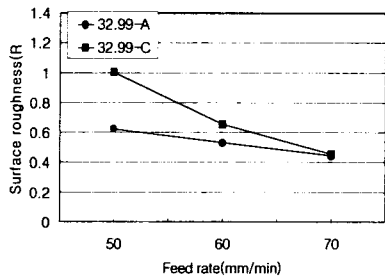


Fig.12 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=32.99m/min, Step feed=Type A,C)

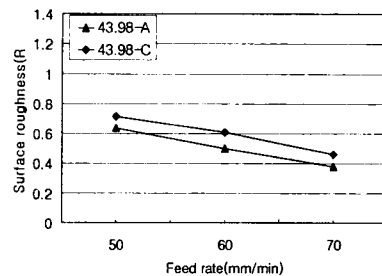


Fig.13 Feed rate vs. Surface roughness (Cutting speed=43.98rpm, Step feed=Type A,C)

3.3 그 외에 표면거칠기에 영향을 미치는 인자들

3.3.1 단계절입이송

구멍 가공 중 단계절입 이송은 칩 배출, 공작물의 냉각 등에 효과를 가져오므로 미세삼공 가공에서는 필수적이다. 단계이송 방식의 싸이클 구성은 일정만큼 절입 이송한 다음, 절입 원점으로 복귀하고 다시 절입을 시작하는 다단계의 과정을 구멍 가공된 시험편 단면에서 사진으로 볼 수 있다. Fig. 14는 스텝이송이 0.15mm×6회 + 0.12mm×6회 + 0.1mm×14회인 C형으로 주었을 때의 사진으로 내면 상태가 다단계로 이루어져 있음을 볼 수 있다.

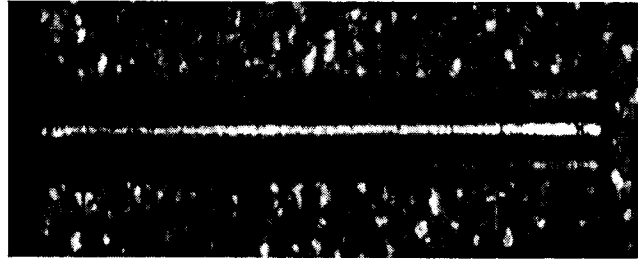


Fig.14 Shape of hole wall by step feed

3.3.2 선단각

칩 배출을 위해 후퇴할 경우에는 드릴 Flute부분의 잔류 칩이 구멍 내면을 손상시키므로 가급적 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 절삭조건에 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, 스텝이송은 B형으로 0.1mm×30회로 절삭 조건을 주었을 때 0.41 Ra로 가장 양호한 구멍 내면의 표면 거칠기를 얻을 수 있었다.
- ③ 이송속도의 변화가 가공 구멍 내면의 표면 거칠기에 미치는 영향에서는 이송속도가 70mm/min, 절삭속도가 43.9m/min, 스텝 이송은 A형으로 0.05mm×60회로 절삭 조건을 주었을 때 0.38 Ra로 가장 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있었다.
- ④ 스텝이송은 원활한 칩 배출을 주므로 미세심공 가공시 중요한 변수로 작용하리라 본다.

참고문헌

1. 백인환, 정우섭, 이상호, "미소경 드릴링 머신의 시작과 절삭현상의 연구," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.66-70, 1993.

2. 이상조, "드릴링 작업의 가공정밀도 개선에 대하여," 대한기계학회지, 제30권, 제1호, pp.29-35, 1990.
3. Iwata K., Moriwaki T., "Basic Study of High speed Micro Deep Drilling", CIRP Annals., 1981.
4. G.S. Li., W.S. Lau and Y.Z. Zhang, "In-process Drill Wear and Breakage Monitoring for a Machining Center Based on Cutting Force Parameters," Int. J. Tools Manufact, Vol.32, No.6, pp.855-867, 1992.
5. Iwata K., Moriwaki T. and Hoshikawa M., "Fundamental Study of High Speed Micro Deep Drilling," 精密機械, Vol.47, No.2, pp.240-246, 1983.
6. 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.
7. Montohisa Ono, "Study on micro drill machining", Trans. JSPE, 48卷 2號, pp.98-104, 1992.

저자소개

김 희남 : 명지대학교 기계공학과 교수

이 형원 : 명지대학교 학사 및 석사

이 원영 : 경기지방중소기업청

이 종화 : 윤성전자(주) 사장

이 인수 : 윤성전자(주) 이사

본 연구는 중소기업청에서 시행한 "중소기업
기술혁신 개발사업"의 기술개발 지원에 의하
여 연구되었음.